

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
Dependencia		Aprobado		Pág.
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA		SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(295)

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	SERGIO ARMANDO JACOME MANZANO		
FACULTAD	FACULTAD DE INGENIERIAS		
PLAN DE ESTUDIOS	PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA MECÁNICA		
DIRECTOR	GUSTAVO GUERRERO GÓMEZ		
TÍTULO DE LA TESIS	EVALUACIÓN TERMODINÁMICA DEL PROCESO DE COCCIÓN Y ANÁLISIS DE GASES EN HORNOS A CIELO ABIERTO Y HOFFMAN EN OCAÑA		
RESUMEN			
(70 palabras aproximadamente)			
<p>EN EL PROYECTO SE REALIZÓ LA EVALUACIÓN TERMODINÁMICA DEL PROCESO DE COCCIÓN EN TRES HORNOS LADRILLEROS DEL MUNICIPIO DE OCAÑA, DE ACUERDO A SU GEOMETRÍA (TIPO HOFFMAN, CIRCULAR Y RECTANGULAR), DONDE SE EVALÚAN LAS PÉRDIDAS DE CALOR PRESENTES EN CADA UNO Y SE CARACTERIZA NUMÉRICAMENTE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS MISMOS. ADEMÁS SE REALIZARON PRUEBAS A LOS GASES DE EMITIDOS EN CADA EMPRESA, POR MEDIO DE UN ANALIZADOR DE GASES DE COMBUSTIÓN, PARA DETERMINAR SI LAS EMISIONES ENVIADAS A LA ATMOSFERA ESTÁN CUMPLIENDO CON LAS NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 295	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:1



**EVALUACIÓN TERMODINÁMICA DEL PROCESO DE COCCIÓN Y ANÁLISIS
DE GASES EN HORNOS A CIELO ABIERTO Y HOFFMAN EN OCAÑA**

SERGIO ARMANDO JACOME MANZANO

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA MECÁNICA
OCAÑA
2015**

**EVALUACIÓN TERMODINÁMICA DEL PROCESO DE COCCIÓN Y ANÁLISIS
DE GASES EN HORNOS A CIELO ABIERTO Y HOFFMAN EN OCAÑA**

SERGIO ARMANDO JACOME MANZANO

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de
Ingeniero mecánico**

**Director
GUSTAVO GUERRERO GÓMEZ
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA MECÁNICA
OCAÑA
2015**

DEDICATORIA

Primero agradecerle a Dios, por regalarme la oportunidad de culminar esta meta tan importante en mi vida.

A mi madre Faride Manzano, por estar siempre apoyándome y motivándome para cumplir este logro.

A mi padre Jesús Jacome, por enseñarme que todo lo que vale la pena en la vida, exige un sacrificio.

A mi hermana Lesly Jacome, por ser esa persona incondicional en las buenas y en las malas.

A mi familia, Tíos(as), Liceth, Sonia, Blanca y abuela que siempre me acompañan y quieren lo mejor para Mi.

A mis compañeros, Javier, Jefferson, Álvaro, Víctor, Félix, Gilver, Julián, Jorge por acompañarme en estos años de formación universitaria.

A los profesores que durante toda la carrera me brindaron su conocimiento para formarme como profesional.

Sergio Jacome Manzano

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por formarme como profesional.

A Gustavo Guerreño Gómez, Ingeniero Mecánico, Por su gran colaboración y guía como director de proyecto de investigación.

A los trabajadores y dueños de las empresas ladrilleras que hicieron posible el desarrollo de este proyecto

CONTENIDO

	Pág.
<u>INTRODUCCIÓN</u>	21
<u>1. EVALUACIÓN TERMODINÁMICA DEL PROCESO DE COCCIÓN Y ANÁLISIS DE GASES EN HORNOS A CIELO ABIERTO Y HOFFMAN EN OCAÑA</u>	22
1.1 <u>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	22
1.2 <u>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</u>	23
1.3 <u>OBJETIVOS</u>	23
1.3.1 General	23
1.3.2 Específicos	23
1.4 <u>JUSTIFICACIÓN</u>	24
1.5 <u>DELIMITACIONES</u>	25
1.5.1 Geográficas	25
1.5.2 Conceptual	25
1.5.3 Operativa	25
1.5.4 Temporal	25
<u>2. MARCO REFERENCIAL</u>	26
2.1 <u>MARCO HISTÓRICO</u>	26
2.1.1 Antecedentes históricos del sector industrial cerámico a nivel mundial	26
2.1.2 Antecedentes históricos del sector industrial cerámico a nivel nacional	28
2.1.3 Antecedentes históricos del sector industrial cerámico a nivel local	29
<u>3. MARCO CONCEPTUAL</u>	31
3.1.1 Eficiencia	31
3.1.2 Analizador de gases de combustión	31
3.1.3 El proceso de combustión	31
3.1.4 Combustión completa	31

3.1.5	Tiro	31
3.1.6	Composición del aire	32
3.1.7	Punto de descarga	32
3.1.8	Arcilla	32
3.1.9	Combustibles Sólidos	32
3.1.10	Condiciones de Referencia	32
3.1.11	Contaminantes	32
3.1.12	Contaminación Atmosférica	32
3.1.13	Emisión	32
3.1.14	Emisión Molesta	33
3.1.15	Fuente de Emisión	33
3.1.16	Fuente Fija	33
3.1.17	Fuente Fija Puntual	33
3.1.18	Norma de Emisión	33
3.1.19	Foco de emisión	33
3.1.20	Sitio de medida	33
3.1.21	Célula Electroquímica	34
3.1.22	La adquisición de datos	34
3.1.23	Sensores	34
3.1.24	Chasis de Adquisición	34
3.1.25	Tarjeta o Modulo de adquisición	35
3.2	<u>MARCO TEÓRICO</u>	35
3.2.1	Características de la Industria Cerámica	35
3.2.2	Tipos de hornos usados en la Industria	37
3.2.2.1	Hornos Intermitentes	37
3.2.2.2	Hornos de Fuego Dormido	37
3.2.2.3	Hornos Pampa	38
3.2.2.4	Horno Baúl	39
3.2.2.5	Horno Colmena	40
3.2.2.6	Hornos Semicontínuos	41
3.2.2.7	Horno Vagón	41
3.2.2.8	Horno Rápido Intermitente	41
3.2.2.9	Hornos Continuos	42
3.2.2.10	Horno Hoffman	42
3.2.2.11	Horno Hoffman Bock	43
3.2.2.12	Horno Bill's Trench Kiln (BTK)	43
3.2.2.13	Horno Hoffman Abierto	43
3.2.2.14	Horno Túnel	43
3.2.2.15	Horno de Rodillos	44

3.2.2.16	Horno de Cámaras Múltiples	44
3.2.2.17	Horno Vertical VSBK	45
3.2.2.18	Horno MK	46
3.2.2.19	Horno MK-3	47
3.2.2.20	Fases en el proceso de cocción de la arcilla y la cerámica	47
3.2.3	Proceso de producción en la Ladrillera Ocaña	48
3.2.3.1	Proceso de alimentación	48
3.2.3.2	Transporte de la materia prima	49
3.2.3.3	Trituración del material	50
3.2.3.4	Disminución del tamaño del grano de la arcilla	50
3.2.3.5	Laminado de la arcilla	51
3.2.3.6	Amasado del material	52
3.2.3.7	Paso del material por el segundo laminador	53
3.2.3.8	Paso del material por la amasadora dos	53
3.2.3.9	Extrusión de la arcilla	54
3.2.3.10	Cortado del ladrillo	55
3.2.3.11	Bomba al vacío	56
3.2.3.12	Stoker	56
3.2.3.13	Conducción de aire caliente a secaderos	57
3.2.3.14	Distribución del calor en los secaderos	57
3.2.3.15	Preparación del carbón	58
3.2.3.16	Preparación del ladrillo de Quema	58
3.2.3.17	Inyección del carbón al horno de quemado de ladrillos	59
3.2.4	Producción de bloques en ladrilleras artesanales	61
3.2.4.1	Preparación de la arcilla	61
3.2.4.2	Moldeo del ladrillo	61
3.2.4.3	Secado del ladrillos	62
3.2.4.4	Preparación del ladrillo la quema	63
3.2.4.5	Quema	64
3.2.5	Tipos de Contaminantes	66
3.2.5.1	Monóxido de carbono (CO)	66
3.2.5.2	Óxidos de Nitrógeno	66
3.2.5.3	Óxidos de Azufre (SO _x)	67
3.2.5.4	Ozono Troposférico (O ₃)	67
3.2.5.5	Material Particulado (PM)	67
3.2.5.6	Partículas Suspendidas totales (PST)	68
3.3	<u>MARCO LEGAL</u>	69
3.3.1	Universidad Francisco de Paula Santander	69
3.3.2	Convenios Internacionales Relacionados con contaminantes atmosféricos	70

3.3.3	Normativa ambiental en Colombia	71
3.3.4	Números CO Para Recordar	74
4.	<u>DISEÑO METODOLÓGICO</u>	75
4.1	<u>TIPO DE INVESTIGACIÓN</u>	75
4.1.1	Población	75
4.1.2	Muestra	75
4.2	<u>FASES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN</u>	75
4.2.1	FASE I. Ubicación y selección de las empresas ladrilleras del municipio de Ocaña para el estudio	75
4.2.2	FASE II. Calculo de los flujos de energía presentes en los hornos	76
4.2.3	FASE III. Calculo del rendimiento energético de los hornos	76
4.2.4	FASE IV. Determinar las concentraciones de gases emitidas a la atmosfera por los hornos	76
5.	<u>DESARROLLO DEL PROYECTO</u>	77
5.1	<u>UBICACIÓN Y SELECCIÓN DE LAS EMPRESAS LADRILLERAS</u>	77
5.1.1	Ladrillera Ocaña	78
5.1.2	Ladrillera el Recreo dos	79
5.1.3	Ladrillera el Estanco	79
5.1.4	Montaje e instalación de equipos en los Hornos	80
5.1.4.1	Termopares utilizados	80
5.1.4.2	Cable de Conexión	81
5.1.4.3	Tarjeta de adquisición NI 9213 para 16 termopares	81
5.1.4.4	Chasis	82
5.1.4.5	Pirómetro Óptico	82
5.1.4.6	Cámara termografía	83
5.1.4.7	Anemómetro	83
5.1.4.8	Analizador de gases de combustión UEi EAGLE	84
5.1.4.9	Registro y monitoreo de temperaturas	84
5.1.4.10	Montaje en el Horno de la ladrillera Ocaña	88
5.1.4.11	Montaje en el horno Circular	90
5.1.4.12	Montaje en el horno cuadrado	92
5.2	<u>EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA EN EL HORNO HOFFEMAN</u>	93
5.2.1	Calor de entrada (QH)	94
5.2.2	Acumulación de calor en mampostería (Q ₀)	95

5.2.3	Calor por carga del material a coser (Q_{cm})	100
5.2.4	Calor para sacar la humedad del material (Q_{wm})	101
5.2.5	Calor necesario para la descomposición química de la arcilla (Q_{dq})	101
5.2.6	Calor por humedad del carbón (Q_{wc})	102
5.2.7	Calor por agua formada en la combustión (Q_{ac})	103
5.2.8	Calor por humedad de aire (Q_{wa})	106
5.2.9	Calor por inquemados (Q_i)	111
5.2.10	Calor por pared (Q_p)	111
5.2.11	Calor por cúpula (Q_c)	114
5.2.12	Calor por los humos (Q_h)	116
5.2.13	Pérdidas intangibles (Q_{in})	118
5.2.14	Rendimiento del horno	119
5.2.14.1	Por el calor real utilizado para la cocción del material	119
5.2.14.2	Por cantidad de material cocido	119
5.3	<u>EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA EN EL HORNO CIRCULAR</u>	120
5.3.1	Calor de entrada (Q_t)	121
5.3.2	Acumulación de calor en mampostería (Q_0)	122
5.3.3	Calor por carga del material a coser (Q_{cm})	125
5.3.4	Calor para sacar la humedad del material (Q_{wm})	126
5.3.5	Calor necesario para la descomposición química de la arcilla (Q_{dq})	126
5.3.6	Calor por humedad del carbón (Q_{wc})	127
5.3.7	Calor por agua formada en la combustión (Q_{ac})	131
5.3.8	Calor por humedad de aire (Q_{wa})	136
5.3.9	Calor por inquemados (Q_i)	143
5.3.10	Calor por pared (Q_p)	143
5.3.11	Calor por los humos (Q_h)	148
5.3.12	Pérdidas intangibles (Q_{in})	152
5.3.13	Rendimiento del horno	153
5.3.13.1	Por el calor real utilizado para la cocción del material	153
5.3.13.2	Por cantidad de material cocido	154
5.4	<u>EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA EN EL HORNO CUADRADO</u>	155
5.4.1	Calor de entrada (Q_t)	156
5.4.2	Acumulación de calor en mampostería (Q_0)	157
5.4.3	Calor por carga del material a coser (Q_{cm})	160
5.4.4	Calor para sacar la humedad del material (Q_{wm})	161
5.4.5	Calor necesario para la descomposición química de la arcilla (Q_{dq})	161
5.4.6	Calor por humedad del carbón (Q_{wc})	162
5.4.7	Calor por agua formada en la combustión (Q_{ac})	166
5.4.8	Calor por humedad de aire (Q_{wa})	171

5.4.9	Calor por inquemados (Qi)	178
5.4.10	Calor por pared (Qp)	178
5.4.11	Calor por los humos (Qh)	184
5.4.12	Pérdidas intangibles (Qin)	189
5.4.13	Rendimiento del horno	190
5.4.13.1	Por el calor real utilizado para la cocción del material	190
5.4.13.2	Por cantidad de material cocido	190
5.5	<u>PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS</u>	193
5.5.1	Métodos empleados para la medición directa	193
5.5.2	Ubicación del punto de muestro y Número de puntos de medición	194
5.5.3	Mediciones con el Analizador de gases de combustión UEi EAGLE	195
5.6	<u>PRUEBA DE EMISIÓN DE GASES EN EL HORNO HOFFMAN</u>	196
5.7	<u>PRUEBA DE EMISIÓN DE GASES EN EL HORNO CIRCULAR</u>	199
5.8	<u>PRUEBA DE EMISIÓN DE GASES EN EL HORNO CUADRADO</u>	200
5.9	<u>REQUERIMIENTOS ESTABLECIDOS A LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE EMISIÓN</u>	201
5.10	<u>RESUMEN DE LAS EMISIONES DE GASES GENERADAS EN LOS HORNOS</u>	209
6.	<u>CONCLUSIONES</u>	212
7.	<u>RECOMENDACIONES</u>	214
	<u>BLOGRAFÍA</u>	215
	<u>REFERENCIAS ELECTRÓNICAS</u>	218
	<u>ANEXOS</u>	220

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Criterios de clasificación de la industria ladrillera.	36
Tabla 2. Tipos de hornos según sector.	37
Tabla 3. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 18%.	71
Tabla 4. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias nuevas de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 18%.	72
Tabla 5. Estándares de emisión admisibles de contaminantes peligrosos al aire para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 18%.	72
Tabla 6. Valores de CO límites.	74
Tabla 7. Clasificación geográfica.	77
Tabla 8. Temperatura media de los puntos de medición.	96
Tabla 9. Peso promedio de cada uno de los productos.	100
Tabla 10. Calor por la humedad del carbón.	103
Tabla 11. Composición química del carbón.	104
Tabla 12. Calor por agua formada en la combustión.	105
Tabla 13. Factor de aire.	109
Tabla 14. Calor por la humedad el aire.	110
Tabla 15. Calor por Pared.	113
Tabla 16. Calor por cúpula.	115
Tabla 17. Pérdidas por humos.	117
Tabla 18. Balance Termodinámico del Horno Hoffman.	118
Tabla 19. Temperatura media de los puntos de medición.	122
Tabla 20. Peso promedio de cada uno de los productos	125
Tabla 21. Calor por la humedad del carbón.	128
Tabla 22. Composición química del carbón.	132
Tabla 23. Calor por agua formada en la combustión.	133
Tabla 24. Calor por la humedad el aire.	139
Tabla 25. Calor por Pared.	144
Tabla 26. Pérdidas por humos.	149

Tabla 27. Balance Termodinámico del Horno Circular.	153
Tabla 28. Temperatura media de los puntos de medición.	157
Tabla 29. Peso promedio de cada uno de los productos.	160
Tabla 30. Calor por la humedad del carbón.	162
Tabla 31. Composición química del carbón.	166
Tabla 32. Calor por agua formada en la combustión.	167
Tabla 33. Calor por la humedad el aire.	174
Tabla 34. Calor por Pared.	180
Tabla 35. Pérdidas por humos.	185
Tabla 36. Balance Termodinámico del Horno Cuadrado.	189
Tabla 37. Resumen del balance térmico en los hornos ladrilleros de Ocaña analizados.	191
Tabla 38. Resumen de las pérdidas presentes en los hornos apresadas en porcentajes.	192
Tabla 39. Métodos empleados para evaluación de mediciones de emisiones de contaminantes.	193
Tabla 40. Instalaciones mínimas para la medición de medición directa.	194
Tabla 41. Velocidad de los gases en la chimenea.	198
Tabla 42. Monitoreo de gases a través de analizador instrumental en el horno Hoffman.	202
Tabla 43. Resumen de Monitoreo Isocinético en la ladrillera Ocaña.	203
Tabla 44. Monitoreo a través de Analizador instrumental.	203
Tabla 45. Evaluación de los gases emitidos por la ladrillera Ocaña frente a la norma.	203
Tabla 46. Evaluación de gases a través de analizador instrumental.	204
Tabla 47. Monitoreo de gases a través de analizador instrumental en el horno el Recreo 2.	205
Tabla 48. Monitoreo a través de Analizador instrumental.	205
Tabla 49. Evaluación de gases en la ladrillera el Recreo 2 frente a la norma.	206
Tabla 50. Monitoreo de gases a través de analizador instrumental en el horno el Estanco.	207
Tabla 51. Monitoreo a través de Analizador instrumental.	207
Tabla 52. Evaluación de gases de la ladrillera el Estanco frente a la norma.	208

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema en serie de un Módulo.	35
Figura 2. Horno de fuego dormido.	38
Figura 3. Horno Pampa.	39
Figura 4. Horno Baúl.	39
Figura 5. Horno Colmena.	40
Figura 6. Horno Hoffman.	42
Figura 7. Horno Túnel.	44
Figura 8. Horno cámaras Múltiples.	45
Figura 9. Horno Vertical VSBK.	46
Figura 10. Horno MK-2.	47
Figura 11. Cajón alimentador.	48
Figura 12. Salida del material.	49
Figura 13. Banda transportadora.	49
Figura 14. Desterronador.	50
Figura 15. Cuchillas.	50
Figura 16. Desintegrador.	51
Figura 17. Molino Laminador.	51
Figura 18. Salida del material.	52
Figura 19. Amasadora.	52
Figura 20. Paletas Mezcladoras.	53
Figura 21. Molino laminador dos.	53
Figura 22. Amasadora dos.	54
Figura 23. Paletas mezcladoras.	54
Figura 24. Extrusora.	55
Figura 25. Cortadora automática.	55
Figura 26. Bomba al vacío.	56
Figura 27. Stoker.	56
Figura 28. Extractor.	57
Figura 29. Carro ventilador.	57
Figura 30. Molino de martillos.	58
Figura 31. Cargado del horno.	58
Figura 32. Configuración del ladrillo.	59

Figura 33. Sellado de la puerta.	59
Figura 34. Carbojet.	60
Figura 35. Ladrillo final.	60
Figura 36. Pileta de almacenamiento.	61
Figura 37. Amasado del material.	61
Figura 38. Moldeado del ladrillo.	62
Figura 39. Moldeado del ladrillo.	62
Figura 40. Almacenamiento.	63
Figura 41. Ubicación del bloque en un horno circular.	63
Figura 42. Ubicación del bloque en un horno rectangular.	64
Figura 43. Carbón utilizado.	64
Figura 44. Quema en un horno circular.	65
Figura 45. Quema en un horno rectangular.	65
Figura 46. Material Particulado.	68
Figura 47. Ubicación geográfica de las empresas ladrilleras.	77
Figura 48. Horno Hoffman.	78
Figura 49. Horno circular	79
Figura 50. Horno Cuadrado.	80
Figura 51. Termopares de bulbo tipo K.	80
Figura 52. Termopares tipo k con recubrimiento.	81
Figura 53. Tarjeta de adquisición.	81
Figura 54. Chasis de adquisición.	82
Figura 55. Pirómetro óptico.	82
Figura 56. Cámara Termográfica.	83
Figura 57. Anemómetro digital.	83
Figura 58. Analizador de gases de combustión.	84
Figura 59. Software Lab VIEW.	85
Figura 60. Pantalla de inicio del Software HORNO TEST 2.1 en Lab VIEW.	85
Figura 61. Programación grafica del Software HORNO TEST 2.1	86
Figura 62. Configuración del programa.	88
Figura 63. Resultados de la adquisición.	87
Figura 64. Pantalla de monitoreo del Software Lab VIEW.	87
Figura 65. Posición de los termopares en el horno.	88
Figura 66. Termopar en la cúpula del horno.	89
Figura 67. Dispositivos de monitoreo.	89
Figura 68. Ubicación del cable de Conexión.	89
Figura 69. Conexión del cable a los termopares.	90
Figura 70. Posición de los termopares en el horno.	90
Figura 71. Salida de termopar a temperatura ambiente.	91

Figura 72. Cable de Conexión.	91
Figura 73. Posición de los termopares en el horno.	92
Figura 74. Dispositivos de monitoreo.	92
Figura 75. Horno Hoffman.	93
Figura 76. Perfil de temperatura en el Horno Hoffman.	94
Figura 77. Horno Hoffman.	96
Figura 78. Vista superior del Horno Hoffman.	97
Figura 79. Sección transversal de estudio del Horno Hoffman.	97
Figura 80. Vista lateral del Horno Hoffman.	98
Figura 81. Sección de la vista lateral del Horno Hoffman.	98
Figura 82. Horno circular.	120
Figura 83. Perfiles de Temperatura del Horno Circular	121
Figura 84. Vista superior del horno.	123
Figura 85. Vista lateral del horno.	124
Figura 86. Horno Cuadrado.	155
Figura 87. Perfiles del horno Cuadrado.	156
Figura 88. Vista superior del horno.	158
Figura 89. Vista frontal del horno.	159
Figura 90. Analizador de gases de combustión UEi EAGLE.	195
Figura 91. Chimenea del Horno Hoffman.	196
Figura 92. Niples (Ductos).	196
Figura 93. Medición de emisiones en la chimenea.	197
Figura 94. Medición de la velocidad del flujo de gases en la chimenea.	198
Figura 95. Medición de gases a través de sondas en la sección superior del horno.	199
Figura 96. Impresión del monitoreo.	199
Figura 97. Medición de gases a través de sonda de combustión y presión en la sección superior del horno.	200
Figura 98. Medición de gases en la pared del horno.	200

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Exceso de aire en la combustión de los hornos ladrilleros.	209
Gráfica 2. Temperaturas máximas alcanzadas por los gases emitidos en los hornos.	210
Gráfica 3. Concentraciones principales generadas en la ladrillera Ocaña	210
Gráfica 4. Concentración de CO presente en Horno Circular y rectangular	211
Gráfica 5. Emisiones de Óxido nítrico en los hornos Circular y Rectangular	211

LISTA DE ANEXOS

Pág.

ANEXO A. Inventario de las empresas de dedicadas a la explotación y transformación de arcilla en Ocaña.	220
ANEXO B. Interpolación en la carta psicométrica.	221
ANEXO C. Interpolación en la carta psicométrica.	221
ANEXO D. Perfiles de temperatura individual en el horno Hoffman.	222
ANEXO E. Perfiles de temperatura individual en el horno Circular.	224
ANEXO F. Perfiles de temperatura individual en el horno Rectangular.	226
ANEXO G. Mediciones de gases en el horno Hoffman.	228
ANEXO H. Mediciones de gases en el horno circular.	231
ANEXO I. Mediciones de gases en el horno rectangular.	234
ANEXO J. Cálculos del monitoreo de gases en los hornos.	237
ANEXO K. Adquisición de temperaturas en el horno Hoffman	243
ANEXO L. Adquisición de temperaturas en el horno Circular	254
ANEXO M. Adquisición de temperaturas en el horno Rectangular.	274

INTRODUCCIÓN

En el municipio de Ocaña el sector Cerámico se caracteriza por la Explotación y Producción de productos cerámicos principalmente para el sector de la construcción, la gran mayoría opera con técnicas muy artesanales, sin conocimiento acerca del ahorro energético de insumos y materia prima que en la actualidad es muy.

El proceso de producción de los hornos utilizados por estas empresas es a cielo abierto, operan sin acato de normativa ambiental vigente, no cuentan con sistemas tecnológicos como controles de temperatura, para regular el proceso de cocción, controles del aire combustible para que la combustión sea la ideal y generalmente su rendimiento energético es bajo, debido a muchas pérdidas de calor que se presentan en la cocción del producto.

El sector ladrillero está clasificado según sus técnicas de operación y producción en chircales artesanales, chircales mecanizados y ladrilleras pequeñas, medianas y grandes. Donde los principales productos que elaboran son el ladrillo tolete, tejas y bloques.

En este trabajo primero se identificaron las empresas ladrilleras dedicadas a la producción de materiales para la mampostería en Ocaña. Luego se escogieron tres de estas empresas de acuerdo al tipo de geometría del horno (Hoffman, Circular y Rectangulares), donde se hizo un balance termodinámico a través de todos los flujos de energía presentes en la cocción del material en el horno. Se utilizó el software Lab VIEW, para encontrar los perfiles de temperaturas de cada horno en los puntos requeridos (Pared, Piso, Cúpula, Gases, interiores y exteriores de los hornos), por el balance energético, empleando sensores de temperatura y sistemas de adquisición de datos como tarjeta de adquisición NI 9213, Chasis NI cDAQ-9184, conectados al software Lad VIEW que monitorean el horno a través de los termopares en tiempo real. También se presentan los métodos, materiales y equipos utilizados para la evaluación de emisiones en fuentes fijas, generadas por el proceso de combustión de los hornos.

1. EVALUACIÓN TERMODINÁMICA DEL PROCESO DE COCCIÓN Y ANÁLISIS DE GASES EN HORNOS A CIELO ABIERTO Y HOFFMAN EN OCAÑA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia una pequeña parte del sector industrial se dedica a la producción artesanal de productos cerámicos y no cuentan con tecnificación en sus procesos de producción y bajo rendimiento térmico, produciendo alta contaminación atmosférica. Las empresas ladrilleras a pequeña escala, donde los procesos de producción son parcialmente tecnificados, utilizan criterios de selección y calidad de la materia prima, incorporan circuito de molienda, homogenización de la pasta cerámica para la extrusión y eliminación de agua y aire del producto, lo que implica una automatización del proceso e implementación de secaderos artificiales, caracterizándose en este sector los hornos tipo continuo (Hoffman) y semicontinuos.¹

Colombia produce solo el 0.37% de emisiones de gases de efecto invernadero del mundo. Donde los combustibles fósiles son los mayores contaminantes, el 41 % de las emisiones del país se generan principalmente en Bogotá, Medellín y Cali respectivamente. La mayoría de las emisiones de material particulado menor a 10 micras (PM10), de óxido de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO) son ocasionadas por distintas fuentes móviles (vehículos, motocicletas, barcos, etc.) que son las que utilizan más combustibles fósiles, mientras que los óxidos de azufre (SO_x) y partículas suspendidas totales (PST) son generadas por fuentes fijas como establecimientos industriales y termoeléctricos. Estos sectores participan de la contaminación del aire en proporciones de 86% en el transporte terrestre, 8% en la industria, 2 % en sectores residenciales y comerciales y 1% en el transporte aéreo.²

Debido a los diferentes factores que perjudican el medio ambiente y recursos naturales en Colombia hay normativa que rige el ministerio del medio ambiente y desarrollo sostenible, el cual se fundamenta en directrices internacionales de las normas de estados unidos de américa y la comunidad europea (Agencia de protección ambiental de los estados unidos, Protocolo de Kyoto etc.), y regulan en carácter general todas las actividades que pueden producir de manera directa o indirecta daños ambientales, llevando así a reducir la contaminación atmosférica en el territorio nacional y establecer límites máximos permisibles de emisiones, descarga, transporte o depósito de sustancias, productos, compuestos o

¹ CAEN y SWISSCONTACT. Estudio tecnológico para definir el tipo de tecnología de horno apropiada para la reconversión de las ladrilleras artesanales, ingeniería básica y supervisión del montaje. Nemocón. 2011. 100 pág.

² TYLER, Nick. ACEVEDO, Jorge. BOCAREJO, Juan. Y VELÁSQUEZ, Migue. University college Y London y Universidad de los Andes. Marco Teórico de contaminación atmosférica en Colombia. 2013. 35 Pág.

cualquier otra materia que pueda afectar el medio ambiente y los recursos naturales renovables.³

La industria cerámica de Ocaña en su mayoría elabora productos mediante la cocción en hornos a cielo abierto, estos no cuentan con elementos que ayuden a mejorar la fabricación de sus productos, como controladores de temperatura, de aire y combustible en el proceso de combustión, ya que estos ayudan a mejorar y controlar en tiempo real el tratamiento térmico que se aplica a la materia prima.

En los hornos del municipio de Ocaña la baja eficiencia térmica en el proceso de cocción de los productos cerámicos indica que parte de la energía suministrada (combustible), se pierda en forma de calor a través de las paredes de la cámara de cocción al no contar con aislamientos térmicos, pérdidas por la presencia de filtraciones de aire a través de aberturas y pérdidas de calor en parte superior del horno. Esto se debe a que las microempresas ladrilleras no cuentan con las mejores herramientas de producción, sistemas tecnificados, automatización y diseño del horno idóneo para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del producto (ladrillos, bloques y tejas), ya que se presentan en algunos casos malformaciones, agrietamientos, colores oscuros entre otras que generan grandes pérdidas económicas.⁴

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es adecuado el proceso de cocción en las empresas cerámicas del municipio de Ocaña, que conlleven a una combustión eficiente y una regulada emisión de gases?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

Realizar la evaluación termodinámica del proceso de cocción y análisis de gases en hornos a cielo abierto y Hoffman en Ocaña.

1.3.2 Específicos

- Seleccionar los hornos ladrilleros para el estudio dependiendo su diseño geométrico.
- Determinar los flujos de energía durante el proceso de cocción de los hornos.
- Calcular el rendimiento energético del horno por medio de un balance de energía.
- Realizar pruebas de emisiones en los hornos a través de un analizador de gases de combustión.

³ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 802 de 2014.

⁴ GUERRERO GÓMEZ, Gustavo. Hornos de combustión: Alternativas de reducción de emisiones e incremento de rentabilidad. (Ingeniero Mecánico). universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Facultad de Ingeniería Mecánica.

- Determinar las concentraciones de gases emitidos a la atmosfera por los hornos a través de un analizador de gases de combustión.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Una de las principales necesidades en la producción de elementos cerámicos es aumentar la eficiencia energética de sus hornos, ya que gran parte de la energía utilizada como combustible no es aprovechada por las pérdidas de calor que se presentan.

Lo que se buscó al desarrollar este proyecto fue conocer a través del balance termodinámico de cada horno el rendimiento energético de los mismos de acuerdo a su forma geométrica, que generalmente es bajo, principalmente porque no cuentan con una fabricación idónea, con chimeneas que ayuden a mejorar la combustión del combustible empleado y regulen las emisiones exigidas por los agentes ambientales, además su sistemas de producción no es tecnificada. En su mayoría son a cielos abierto y construidos en ladrillo común en los cuales los gases productos de la combustión son arrojados directamente al ambiente. La utilización de estos hornos en esta zona se debe principalmente al bajo costo de construcción, mantenimiento y operación.

Por esta problemática se realizó el estudio energético, para comprender el funcionamiento del proceso de cocción de los hornos, de esta manera los resultados obtenidos servirán como soporte de investigación de la región y también para dar algunas recomendaciones que mejoren la combustión y distribución térmica de los mismos.

También con los análisis de gases producto de la combustión, en los hornos se podrá verificar en qué estado se encuentran con la normativa vigente y si está cumpliendo con respecto a los parámetros establecidos por la misma, además existen normas ambientales presentes en la región donde CORPONOR (Corporación Autónoma Regional de norte de Santander), actualmente se encarga de exigir a las empresas ladrilleras, controlar las emisiones de gases que diariamente son enviadas al ambiente y de no regirse puede ocasionar el cierre de las industrias cerámicas debido al incumplimiento de las normas.⁵

⁵ GUERRERO GÓMEZ, Gustavo. Hornos de combustión: Alternativas de reducción de emisiones e incremento de rentabilidad. (Ingeniero Mecánico).universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Facultad de Ingeniería Mecánica.

1.5 DELIMITACIONES

1.5.1 Geográficas

El proyecto se realizó en los hornos escogidos del municipio de Ocaña.

1.5.2 Conceptual

Para el desarrollo del proyecto se abarcan temas acerca de la evaluación termodinámica de hornos ladrilleros, Flujos de energía en hornos, tipos de hornos, sistemas de adquisición de perfiles de temperatura a través de sensores, evaluación de emisiones en fuentes fijas. Empleados para establecer el rendimiento energético y cumplimiento referente a emisiones en cada horno.

1.5.3 Operativa

Se tomaron los perfiles de temperaturas a través de un sistema de adquisición en los puntos de interés del proceso de cocción de cada horno de forma satisfactoria utilizados en balance térmico y también se desarrollaron las mediciones de gases a través del analizador de combustión para el cumplimiento de los objetivos.

1.5.4 Temporal

El proyecto tuvo una duración de 14 semanas a partir de la aprobación del anteproyecto.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO HISTÓRICO

2.1.1 Antecedentes históricos del sector industrial cerámico a nivel mundial

La producción artesanal de ladrillos en el sector cerámico industrial mundial, es una técnica que se presenta debido a la alta demanda como producto para la construcción, principalmente los materiales utilizados son agua (estancada), arcilla, aserrín entre otros, estos materiales se mezclan hasta tener una pasta uniforme y manejable. La materia prima ya preparada es llevada a un lugar abierto donde se colocan pequeñas porciones en moldes de madera, una vez retirado el molde se obtiene el ladrillo en crudo que se deja al sol por un tiempo de 48 horas para el respectivo secado. Ya secos los ladrillos son llevados a hornos de cocción artesanales durante un periodo de 3 días seguidos a una temperatura que varía entre 800 y 1300 °C. Los hornos funcionan con gas natural y leña entre otros. Una vez los ladrillos estén cocidos se apaga el horno y luego de unos días se retiran.⁶

El proyecto eficiencia energética en ladrilleras artesanales (EELA) inicio en febrero del 2010, el cual promueve modelos integrales de desarrollo tecnológico entre productores de ladrilleras artesanales de América Latina, siendo muy importante ya que busca implementar tecnologías más eficientes, innovadoras que ayuden a disminuir el uso de materias primas, menos consumo de energía y preservación del suelo, e implementar combustibles menos contaminantes para así contribuir al mejoramiento de la calidad de sus ladrillos y entrada fuerte al mercado.⁷

El cambio climático es uno de los principales problemas que están presente en la actualidad, debido a esto hay esfuerzos internacionales que buscan una solución al cambio climático, como son la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y su Protocolo de Kyoto. En diciembre de 1997 se aprobó el protocolo de Kioto (Japón), el cual estableció metas de carácter obligatorio para países industrializados en relación a sus emisiones y además creo mecanismos de carácter innovador para que los países puedan

⁶ GALLEGOS, Aracelly. LANG, Benjamín. FERNÁNDEZ, Miguel y LUJAN, Marcos. Contaminación atmosférica de ladrillos y sus posibles efectos sobre la salud de los niños de las zonas aledañas. Bolivia, 2008, 19 pág. Universidad Católica Boliviana. Departamento de ciencias exactas de ingeniería.

⁷ LA COOPERACIÓN SUIZA E PERÚ. Premio internacional de excelencia para el proyecto de eficiencia energética en ladrilleras artesanales (EELA). [En línea]. Disponible en: <http://cooperacionsuizaenperu.org.pe/cosude-proyectos/proyectos-programa-globalcambioclimatico/eela/proyectornoticias/1129?utm_source=boletincosude&utm_campaign=edicion14122012&utm_medium=email> [Citado el 10 de febrero de 2015]

cumplir las metas establecidas. El protocolo de Kyoto entro en vigor el 18 de noviembre de 2004.

Después de su ratificación por 55 partes de la convención, entre ellas gran parte de los países industrializados, además para ayudar a estos países al cumplimiento de sus metas, el protocolo de Kyoto estableció 3 mecanismos innovadores: El mecanismo para un desarrollo limpio, la aplicación conjunto y el comercio de los derechos de emisión y para apoyar la aplicación de estos mecanismos el protocolo de Kyoto reafirmo los procedimientos de presentación de informes y examen de la convención y se creó un sistema electrónico de base de datos y creación de un registro nacional para dar seguimiento al cumplimiento de estos mecanismos.⁸

En el estudio urbano – ambiental de las ladrilleras en el municipio de Juárez México (2004), se analiza que debido a que las industrias del ladrillo están ligadas a la construcción de vivienda, siempre va a haber una tendencia de crecimiento de esta actividad, pero una de las principales consecuencias que se presenta, es que esta industria no ha modernizado sus procesos de operación y continua atentando contra el ambiente por las altas emisiones de humo emitidas la atmosfera sin ninguna regulación por autoridades pertinentes. Además se puede apreciar que la industria del ladrillo artesanal es una actividad que está asociada principalmente al sector más pobre de la comunidad, donde la demanda de su producto se da por centros de población aledaños.

También una de las principales razones por la que en este pequeño sector industrial no utilice energía más limpia, como el gas natural para sus procesos, se debe a que el costo de insumos e infraestructura es elevado y requieren de tuberías para conducir el energético.

Cabe destacar que los hornos ecológicos no han tenido el impacto esperado por este sector ladrillero a pesar de las ventajas que ofrecen como disminución de insumo de materiales y emisiones contaminantes, ya que los dueños de los hornos tradicionales señalan que al haber recibido capacitación, afirman no saber operarlos, lo cual demuestra que no están interesados de salir de su sistema tradicional de operación.⁹

⁸ PORTAL DE LABOR DEL SISTEMA DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto [En línea]. <http://cooperacionsuizaenperu.org.pe/cosudeproyectos/proyectosprogramaglobalcambioclimatico/eela/proyectednoticias/1129?utm_source=boletincosude&utm_campaign=edicion14122012&utm_medium=email > [Citado el 12 de febrero de 2015]

⁹ AGUILAR, María. CÓRDOBA, Gustavo y GÓMEZ, Luis. Estudio urbano-ambiental de las ladrilleras en el municipio de Juárez: Estudios fronterizos. En: Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. [En línea]. (2004). Disponible en: <<http://www.redalyc.org/pdf/530/53050901.pdf> > [Citado el 12 de febrero de 2015]

2.1.2 Antecedentes históricos del sector industrial cerámico a nivel nacional

En Colombia ya se está trabajando en las problemáticas sobre los altos índices de contaminación ambiental del sector ladrillero artesanal, por esto el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (Minambiente), lanzo un proyecto de pagos por servicios ambientales para erradicar la contaminación en el sector de producción de ladrillo en Boyacá, con una inversión de 4.700 millones, el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible y la corporación autónoma de Boyacá (Corpoboyaca) pusieron en marcha el proyecto que contempla la demolición de 150 hornos por el no cumplimiento ambiental en los municipios de Nobsa, Firavitova, Sogamoso.¹⁰

Según la Unidad de Planeación Minera Energética (UPME) en 2001, dice que la industria ladrillera colombiana tenía un atraso con respecto a estándares internacionales, a principio de los años 90 debido a la demanda en la construcción las empresas industriales tuvieron que tecnificar sus procesos con el fin de aumentar la calidad del producto, producción y disminuir costos a través de sistemas tecnificados de producción como uso de máquinas de extrusión de alta calidad y eficiencia, implementación de secaderos naturales por artificiales, hornos más eficientes (Hoffman, túnel, intermitentes) los cuales consumen menos energía y aumentan la capacidad de producción.¹¹

Según el Ministerio de Energía y Minas (2008), señala que el sector industrial cerámico, se ha visto grandes ahorros en facturación de 4% - 12% en energía eléctrica 3% - 15% en energía térmica, pero tal potencial varía dependiendo el tamaño de la instalación, la naturaleza de los servicios y la política de gestión de energía en la institución.

También gestiona buenas practicas orientadas al uso eficiente de la energía en la industria de cerámicos , en el caso de los hornos se presentan pautas que se deben tener en cuenta como son controlar la temperatura de operación en los hornos de acuerdo a lo requerido por los procesos, programar la operación de los hornos a fin de minimizar la frecuencia de puesta en marcha y parada, regulación de aire-combustible de quemadores en forma periódica, reparar

¹⁰MINAMBIENTE. Ambiente y Desarrollo Sostenible [En línea]. (Febrero de 2015). Disponible en: <<https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1655:minambiente-lanza-proyecto-de-pago-por-servicios-ambientales>> [Citado el 15 de febrero de 2015]

¹¹ UPME. Unidad de Planeación Minero Energética. Determinación de la Eficiencia Energética del Subsector Industrial de Ladrillo, Vidrio y Cerámica. [En línea]. (octubre de 2001). Disponible en : <http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/ure/estudios/EstudiosEficiencia_LadrilloVidrioCeramica.pdf > [Citado el 15 de febrero de 2015]

y reforzar el aislamiento de las paredes del horno y usar el calor residual para calentar el aire de combustión o proporcionar calor al proceso productivo.¹²

Según GARCIA, Cesar. VACA, Martha & TALERO, Gabriel. (2013), en el artículo sobre el aprovechamiento de la biomasa peletizada en el sector ladrillero de Bogotá se compara el desempeño energético y ambiental del uso de combustible a partir de fuentes de biomasa peletizada (residuos de madera, residuos de producción en muebles y principalmente aserrín), el sector ladrillero genera gran demanda de este material reciclable debido a que lo puede utilizar como combustible para el proceso de cocción y secado de sus productos, también permite obtener reducción en las emisiones contaminantes y no altera las propiedades técnicas en la producción de los ladrillos.

También en la investigación concluyeron que el uso de biomasa en hornos de cámaras con una sustitución del 20% de combustible no generan cambios en su operación y en algunos casos se mejoran las condiciones debido al aumento de la eficiencia en el proceso de cocción.¹³

Gracias al estudio realizado, se identificó que el horno tipo Hoffman de quema continua para la producción de elementos cerámicos en Ocaña, utilizan un total de consumo de carbón pulverizado por ladrillo de 0,28 Kg (ladrillera Ocaña 2015), a diferencia de los hornos artesanales que consumen una cantidad de carbón mineral de 0,34 Kg en horno Circular y 0,36 Kg en hornos Rectangular. Lo anterior indica una diferencia importante de consumo de carbón en estos hornos, lo cual se debe al diseño del horno y sistema de quema empleada.

2.1.3 Antecedentes históricos del sector industrial cerámico a nivel local

En la región no se han realizado estudios generales acerca del sector industrial cerámico, pero se han desarrollado proyectos orientados al mejoramiento del sistema de producción de la empresa HORA Ltda. LADRILERA OCAÑA, la cual gracias a su labor, los últimos años en 2011 recibe dos premios:

¹² MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. Elaboración de Proyectos de Guías de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico energético. Industria Cerámica. [En línea]. (Mayo de 2008). Disponible en:

< <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Guia12%20Cer%3%83%C2%A1micos.pdf> > [Citado el 15 de febrero de 2015]

¹³ GARCIA, Cesar. VACA, Martha Y TALERO, Gabriel. Aprovechamiento de biomasa peletizada en el sector ladrillero en Bogotá. En: Artículo sobre Análisis Energético y Ambiental. [En línea]. (2013). Disponible en: < http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642013000300013&script=sci_arttext&tlng=e > [Citado el 16 de febrero de 2015]

Premio Regional Gacela Misión Pyme (entre las mejores Empresas de Norte de Santander) y el premio nacional dado por ANIF (asociación de instituciones financiera) y el banco caja social.¹⁴

VEGA, Anderson y DÍAZ Yolian (2014), desarrollaron una investigación sobre el aprovechamiento de los gases generados por el horno Hoffman de la ladrillera Ocaña para mejorar la zona de secado.

En este proyecto lo que buscaron fue aprovechar los gases generados por el horno Hoffman de la empresa, mediante un análisis del combustible utilizado por el horno (carbón), además realizaron un análisis Isocinético de los gases emitidos a la atmosfera para poder establecer el diseño de la ductería y diseño de un sistema de extracción de humedad en los secaderos, para lograr disminuir los tiempos de secado del producto, el cual debe entrar en condición ideal para el proceso de cocción.¹⁵

PAYAREZ PEREZ; Carlos. Estudio la relación entre las propiedades físicas finales de los bloques cerámicos para mampostería y los perfiles de temperatura presentados en el horno durante su cocción en la ladrillera Ocaña.

En este proyecto se desarrolló la curva óptima del proceso de cocción del horno Hoffman de la empresa ladrillera Ocaña, encontrando que los métodos utilizados por la empresa impide el control de las fases de cristalización y transformaciones del material cerámico, contribuyendo a deformaciones y grietas del producto final que generan pérdidas a la empresa, además se realizaron ensayos destructivos de los bloques demostrando que las propiedades adquiridas por el producto depende en gran medida de la posición de los bloques dentro de las cámaras del horno.¹⁶

¹⁴ CELEDÓN, Nohora. OPL, Salsán y hora Ltda. Recibieron distinción como “gacelas” Empresariales. EN: vanguardia. Periódico en línea. (29 de octubre de 2011). Disponible en : < <http://www.vanguardia.com/economia/local/129045-opl-salsan-y-hora-ltda-recibieron-distincion-como-gacelas-empresariales> >

¹⁵ VEGA, Anderson y DIAZ YOLIAN. aprovechamiento de los gases generados por el horno Hoffman para mejorar la zona de secado en la ladrillera Ocaña. Trabajo de grado. Ingeniería Mecánica. Ocaña N.S: Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingenierías. 2014.

¹⁶ PAYAREZ PEREZ; Carlos. Estudio de La Relación entre las Propiedades Físicas finales de los Bloques Cerámicos para Mampostería y los Perfiles de Temperatura presentados en el Horno durante su Cocción en la Ladrillera Ocaña. Trabajo de grado. Ingeniería Mecánica. Ocaña N.S: Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingenierías. 2014.

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 Eficiencia

Es la relación entre las energías de salida y de entrada, la energía de salida es el calor absorbido por el vapor de trabajo, capaz de generar energía útil fuera del recinto, la energía de entrada corresponde a la máxima energía disponible, cuando el combustible se quema completamente.¹⁷

3.1.2 Analizador de gases de combustión

Es un equipo que proporcionan datos en tiempo real sobre el estado de los gases generados en un proceso de combustión.

3.1.3 El proceso de combustión

La combustión es una reacción química continua que se produce cuando se alcanza una cierta temperatura, Los combustibles más comunes son el hidrógeno, carbono y el oxidante típico es el oxígeno, presente en el aire que respiramos. Una vez que se inicia la reacción seguirá siempre que se esté alimentado de combustible y oxígeno, y la temperatura sea suficiente.

3.1.4 Combustión completa

El término combustión perfecta también se llama combustión estequiométrica. Este es el punto en el que todo el combustible se quema con todo el oxígeno, sin dejar subproductos indeseables. En este punto, todo el hidrógeno en el combustible (H_2) se combinan con el oxígeno (O_2) para formar (H_2O), todo el carbono (C) se combinan para formar (CO_2), y todo el Azufre (S) formaría (SO_2).

3.1.5 Tiro

Es la diferencia entre el nivel de presión ambiente y el nivel de presión en el conducto de humos. Esto se crea ya sea por la flotabilidad natural de los gases calientes creados en el levantamiento de combustión. El tiro ayuda a extraer los gases que se generan en la cámara de combustión y también ayuda en la mezcla del combustible y el oxígeno.¹⁸

¹⁷ GUERRERO GÓMEZ, Gustavo. Hornos de combustión: Alternativas de reducción de emisiones e incremento de rentabilidad. (Ingeniero Mecánico). universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Facultad de Ingeniería Mecánica.

¹⁸ MANUAL DE INSTRUCCIONES. Analizadores de Combustión EAGLE™.

3.1.6 Composición del aire

Es el fluido que forma la atmósfera de la Tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición es, cuando menos de veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica.

3.1.7 Punto de descarga

Es el ducto, chimenea, dispositivo o sitio por donde se emiten los contaminantes a la atmósfera.

3.1.8 Arcilla

Material plástico el cual se puede moldear casi en cualquier forma, y constituido por cristales muy pequeños. Los cuales poseen proporciones de hidrógeno, aluminio, silicio y oxígeno.

3.1.9 Combustibles Sólidos

Se consideran combustibles sólidos los siguientes: carbón mineral, carbón vegetal, antracita, hullas, lignitos, leña, turbas, madera, biomasa, fibras vegetales, asfalto y brea.

3.1.10 Condiciones de Referencia

Son los valores de temperatura y presión con base en los cuales se fijan las normas de calidad del aire y de las emisiones, que respectivamente equivalen a 25 °C y 760 mm de mercurio.

3.1.11 Contaminantes

Son fenómenos físicos o sustancias o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que solos, o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de estas.

3.1.12 Contaminación Atmosférica

Es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.

3.1.13 Emisión

Es la descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de éstos, proveniente de una fuente fija o móvil.

3.1.14 Emisión Molesta

Es aquella generada por sustancias o actividades industriales, comerciales o de servicio, que produce fastidio, aunque no cause daño a la salud humana.

3.1.15 Fuente de Emisión

Es toda actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire.

3.1.16 Fuente Fija

Es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.

3.1.17 Fuente Fija Puntual

Es la fuente fija que emite contaminantes al aire por ductos o chimeneas.

3.1.18 Norma de Emisión

Es el valor de descarga permisible de sustancias contaminantes, establecido por la Autoridad ambiental competente, con el objeto de cumplir la norma de calidad del aire.¹⁹

3.1.19 Foco de emisión

Elemento o dispositivo a través del cual tiene lugar una descarga a la atmósfera de contaminantes atmosféricos, ya se produzca ésta de forma continua, discontinua o puntual y con origen en un único equipo o diversos equipos, procesos y o actividades y que puedan ser colectados para su emisión continua a la atmósfera.

3.1.20 Sitio de medida

Lugar en la chimenea o conducto de gas residual en el área del(los) plano(s) de medida, que consta de estructuras y equipo técnico, por ejemplo plataformas de trabajo, bocas de medidas, suministro de energía.

¹⁹ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 909 del 5 de junio de 2008.

3.1.21 Célula Electroquímica

Sensor selectivo, con principio de medida de una reacción red-ox, que detecta una concentración de un gas específico y genera una señal eléctrica proporcional a la concentración del gas.²⁰

3.1.22 La adquisición de datos

Es un proceso realizado gracias al revolucionario sistema de programación gráfica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos. Las ventajas que proporciona el empleo de Lab VIEW se resumen en las siguientes:

- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.
- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.
- El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.
- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.²¹

3.1.23 Sensores

Los sensores son parte importante en cualquier sistema de medidas el cual convierte fenómenos físicos como temperatura a una señal eléctrica.²²

3.1.24 Chasis de Adquisición

Es un equipo que está diseñado para la medida de sensores y eléctricas, remotas o distribuidas en el cual va conectada la tarjeta de adquisición, por lo general pueden a ver cuatro ranuras, además combina medidas de señal de voltaje, corriente y digital para crear sistemas

²⁰ CONSEJERÍA DEL MEDIO AMBIENTE. Métodos de medida no normalizados: medidas de gases de combustión mediante células electroquímicas. Unión Europea.

²¹ ESI 2. [En línea]. Disponible en :
<<http://www.esi2.us.es/~asun/LCPC06/TutorialLabview.pdf>> [Citado el 15 de Abril de 2015]

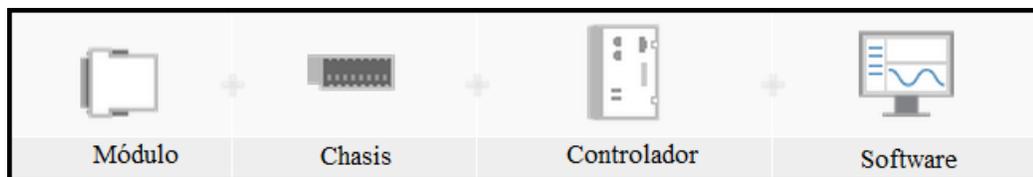
²² NATONAL INSTRUMENTS.

personalizados de medidas mixtas con una sola interfaz ala pc o laptop. Además cuenta con soporte de Programación Lab VIEW.²³

3.1.25 Tarjeta o Modulo de adquisición

Es un sistema diseñado para muchos canales, como para la medición al tiempo de varios termopares. En la adquisición de datos se presentas tres etapas, después de la medición directa de la variable (temperatura entre otras), entra en juego la tarjeta de adquisición (Modulo para termopares), la cual realiza el procesamiento analógico-digital de la información recibida y luego se almacena atreves de un software (Ver figura 1).²⁴

Figura 1. Sistema en serie de un Módulo.



Fuente: NATIONAL INSTRUMENTS.

3.2 MARCO TEÓRICO

3.2.1 Características de la Industria Cerámica

Los hornos tienen el objetivo de convertir materia prima en un producto final, utilizando energía térmica. Los gases calientes que se producen en la combustión transforman la arcilla debido a la transferencia de calor por radiación y convección forzada.

El proceso de producción de materiales cerámicos está compuesto en las siguientes etapas: extracción de la materia prima, trituración, humectación, compactación, extrusión, corte, secado, cocción y apilado. El proceso es manejado en tres medidas estratégicas: la explotación minera, la transformación de la arcilla y la comercialización del producto final. Una de las definitivas etapas de este proceso es la cocción, realizada en los hornos. Para su ejecución, el horno pasa por tres etapas: precalentamiento, quema y enfriamiento; deben controlarse en forma correcta, con el objeto de obtener productos con mínimos defectos y reducir el impacto ambiental, todo con el máximo rendimiento posible y el mínimo consumo de combustible.

²³ Ibid., p. 1.

²⁴ Ibid., p. 1

De acuerdo a su capacidad de producción y desarrollo tecnológico las industrias ladrilleras se han clasificado en chircales, ladrilleras pequeñas, medianas y grandes como se muestra en la siguiente tabla.²⁵

Tabla 1. Criterios de clasificación de la industria ladrillera.

Características				
Industria	Moldeo	Secado	Cocción	producción
Chircal artesanal	Manual o por extrusora sin vacío	Natural	Hornos de fuego dormido, hornos árabes	<110 Ton/mes
Chircal mecanizado	Extrusora sin vacío	Natural	Hornos de colmena o de llama invertida	110-250 Ton/mes
Ladrilleras pequeñas	Extrusora sin vacío	Natural	Hornos de llama invertida (3-10 hornos)	250-1000 Ton/mes
Ladrilleras medinas	Extrusora sin vacío	Natural o artificial	Hornos continuo Hoffman o más de 10 de llama invertidas	1.000-3.000 Ton/mes
Ladrilleras grandes	Extrusora sin vacío	Artificial	Horno túnel, de rodillo, Hoffman	>3.000 Ton/mes

Fuente: ACERCAR. Industrias cerámicas.

El Programa de Eficiencia energética en Ladrilleras Artesanales de América Latina para mitigar el cambio Climático – EELA Estudio (2011), desarrollo un estudio tecnológico para definir el tipo de tecnología de horno apropiado para la reconversión de las ladrilleras artesanales en Nemocón, se identifican los diferentes tipos de hornos de acuerdo al segmento del sector, como lo muestra la Tabla 2. Además se relacionan los tipos de producto preponderantes en cada segmento.

²⁵ ROJAS CASTILLO, Óscar y RODRÍGUEZ MONTAÑA, Nelson. Características de hornos para productos cerámicos del parque minero Industrial El machuelo. (Junio de 2004).

Tabla 2. Tipos de hornos según sector.

Segmento Sector ladrillero	Tipo de horno	Productos	Tipo de producción
Chircal	Fuego dormido	Ladrillo tolete, teja	Intermitente
Pequeño	Colmena	Ladrillo tolete, teja, bloque	Intermitente / Semi-Continuo
Mediano	Hoffman, múltiples colmenas	Bloque, baldosa, teja	Continuo / Semi-Continuo
Grande	Túnel	Adoquín, Bloque, tableta, teja	Continuo

Fuente: Programa de Eficiencia energética en Ladrilleras Artesanales de América Latina.

3.2.2 Tipos de hornos usados en la Industria²⁶

En la industria cerámica es amplia la gama de hornos utilizados dependiendo el tipo de proceso, los cuales se clasifican en Intermitentes, Semicontinuos y Continuos.

3.2.2.1 Hornos Intermitentes

Son hornos de cámaras individuales o en batería, en los que los productos, la instalación de la cocción y la de enfriamiento quedan en posición fija durante la totalidad del ciclo. El esquema de este ciclo es: Entrada de los productos, Pre calentamiento, Cocción de los productos, Enfriamiento de los productos y salida de los productos. Los tiempos de cada una de estas operaciones no son idénticos y difieren considerablemente según el producto a cocer y la naturaleza del proceso.

3.2.2.2 Hornos de Fuego Dormido

Es un horno artesanal, construido en forma circular, generando una especie de bóveda circular abierta, conocido también como horno cilíndrico. Posee una puerta lateral por donde se carga el material. Estos hornos se cargan con una capa de carbón, posteriormente una de ladrillos y consecutivamente una de carbón y otra de ladrillos, hasta que se alcanza el tope del horno. Una vez se ha terminado el endague se prende el horno. La cocción dura aproximadamente entre 20 y 40 días. La producción en estos hornos varía según el tamaño del mismo al igual que el consumo de combustible (carbón). Estos hornos son de baja producción y elevada contaminación, debido a una quema no homogénea y la combustión

²⁶PROGRAMA EFICIENCIA ENERGETICA EN LADRILLERAS ARTESANALES – EELA. Caracterización de los Hornos usados en la Industria Ladrillera. Colombia. 2011.

incompleta, el material producido es de baja calidad, algunos ladrillos quedan requemados, mientras otros crudos.

Figura 2. Horno de fuego dormido.



Fuente: SANTIAGO PÉREZ, Damián y CAÑIZARES TORRES, Herlys. Diagnóstico de los procesos de combustión ejecutados en la industria cerámica en el área metropolitana de San José de Cúcuta. 2012.

3.2.2.3 Hornos Pampa

Los hornos Pampa se constituyen en cuartos rectangulares descubiertos en la parte superior con puertas de salida y entrada a través de las cuales se extraen e introducen los materiales antes o después de la cocción; además poseen unas bóvedas en la parte inferior formadas por material a quemar, por los cuales se introduce el combustible para la cocción.

Son hornos de rápida cocción (aproximadamente 7 días), alta producción y alta contaminación. El endague del horno debe comenzarse con unos ladrillos de canto, ya cocidos de modo que cubra un cuadrado de 10 a 15 metros de largo. La principal desventaja de este horno es que necesita que el combustible genere mucha llama para que ardiendo con la máxima rapidez, pueda llegar a penetrar hacia arriba y cocer los ladrillos de la parte superior.

Figura 3. Horno Pampa.



Fuente: SANTIAGO PÉREZ, Damián y CAÑIZARES TORRES, Herlys. Diagnóstico de los procesos de combustión ejecutados en la industria cerámica en el área metropolitana de San José de cúcuta.2012.

3.2.2.4 Horno Baúl

Tiene igual diseño que el horno Pampa, pero dispone de una bóveda y evacúa los gases de combustión por tiro natural, mediante una chimenea situada al lado del horno. En este horno se reduce significativamente la emisión de humos y material particulado.

Figura 4. Horno Baúl.



Fuente: SANTIAGO PÉREZ, Damián y CAÑIZARES TORRES, Herlys. Diagnóstico de los procesos de combustión ejecutados en la industria cerámica en el área metropolitana de San José de cúcuta.2012.

3.2.2.5 Horno Colmena

También conocidos como hornos redondos de Llama Invertida, son hornos cerrados, intermitentes en donde a diferencia de los Pampa se puede regular mejor el tiro, el cual puede ser natural o forzado. La alimentación del material seco se realiza por una puerta lateral.

El suministro del combustible puede realizarse manualmente mediante parrillas colocadas en la pared del horno o automáticamente mediante stoker. Están contruidos en forma de cámaras circulares con paredes y techo en bóveda de ladrillo; poseen hogares laterales distribuidos uniformemente donde se quema el combustible.

Una ventaja de estos hornos es que el combustible y sus residuos no están en contacto inmediato con el producto debido a la pared separadora y conductora de gases del hogar. La bondad de esta ventaja radica en que la coloración de los productos presenta tonalidades rojizas muy homogéneas y no se presentan productos tiznados por efectos del humo ni de las cenizas.

Los gases de combustión ascienden entre la pared del horno y la pared frontal del hogar, llegando hasta la bóveda (parte superior del horno) y luego son obligados a salir por la parte inferior del horno atravesando la carga de arriba hacia abajo (debido a esto son llamados hornos de Llama Invertida) abandonando el horno por el conducto de abducción de gases que se encuentra en el centro del suelo del horno y conduce los gases hacia la chimenea.

Figura 5. Horno Colmena.



Fuente: SANTIAGO PÉREZ, Damián y CAÑIZARES TORRES, Herlys. Diagnóstico de los procesos de combustión ejecutados en la industria cerámica en el área metropolitana de San José de cúcuta.2012.

3.2.2.6 Hornos Semicontínuos

Se entiende con esta denominación un horno semejante al continuo en cuanto a la carga del producto, sobre vagones y el recorrido de éstos en galería (túnel), pero que se diferencian del continuo porque todos los vagones cargados en 1 turno o 2 turnos de trabajo deben ser introducidos completamente en la galería, sin almacenamiento de reserva. Por lo tanto, el ritmo de avance de los vagones dentro del horno es igual al del cargue de vagones y durante las horas de descanso del personal, el funcionamiento de los hornos semicontínuos es similar al de un horno intermitente, con la diferencia importante de que la evacuación del aire ocurre siempre por el extremo de entrada de los vagones.

Como funcionamiento, los hornos semicontínuos se aproximan tanto más a los hornos continuos cuanto más tiempo duran los turnos de trabajo y el ciclo de cocción; son tanto más semejantes a los hornos intermitentes en el caso inverso. Los hornos semicontínuos son en ocasiones, agrupaciones de hornos intermitentes tendientes hacia una operación continua. Adicionalmente, se encuentran modelos como los tipos Vagón y Rápido Intermitente, de funcionamiento similar y forma rectangular.

3.2.2.7 Horno Vagón

Consiste en 1 o 2 cámaras rectangulares con techo plano o curvo, en las cuales se introducen un vagón cargado con las piezas a quemar. La alimentación es lateral y el tiro se realiza por el lado opuesto a la zona de quema, interiormente tiene un revestimiento de ladrillo refractario en la bovedilla de quema y semi-refractario en las paredes internas del horno. En el techo tiene un recubrimiento de fibra refractaria. El tiempo promedio de quema es de 36 horas y la capacidad del vagón es de 19.600 unidades por quema. La carga se monta sobre un gran vagón del tamaño del horno.

3.2.2.8 Horno Rápido Intermitente

Consta de 2 cámaras contiguas de manera que se aprovecha el aire de enfriamiento de una para calentar la otra, haciendo que la operación tenga continuidad. Los quemadores son ubicados lateralmente por una sola pared de cada una de las cámaras. Otra modalidad consiste en una cámara con varios vagones, de manera que mientras uno se somete a cocción, el otro se descarga y carga nuevamente. Se trata de un horno modular que permite su traslado y reubicación en caso de ser necesario, su proceso de cocción opera de manera semicontinua y tiene un ciclo de 36 Horas. Su uso en Colombia no es muy reconocido pues tan solo se tiene noticia de la existencia de 2 hornos de este tipo en el país, uno en Medellín y otro en Sogamoso dedicados a la cocción de productos refractarios.

3.2.2.9 Hornos Continuos

Los hornos continuos aparecieron como una solución más rentable en la fabricación de productos cerámicos. El funcionamiento continuo de los hornos se caracteriza por el desarrollo ininterrumpido de la cocción y la posibilidad de efectuar las diferentes etapas sin variar el ritmo de la producción.

3.2.2.10 Horno Hoffman

Consiste en dos galerías paralelas, formadas por compartimientos contiguos, en cuyos extremos se unen por un pasa-fuegos. Son hornos continuos de alta producción, donde no se puede producir materiales vitrificados. En estos hornos el fuego se mueve a través del horno en dirección opuesta a las manecillas del reloj, este sistema permite obtener una alta eficiencia térmica y de producción, ya que el calor obtenido en la cámara de combustión se utiliza en el precalentamiento de las cámaras precedentes.

Aproximadamente una semana es el tiempo que toma realizar un ciclo completo de quema (el fuego llega al punto de donde partió). Cada galería está formada por varias cámaras, cada una de ella con su respectiva puerta, para el cargue y descargue del horno y un canal de salida que va al colector principal que conduce a la chimenea, cada cámara comunica con el colector, por un conducto de humos, los cuales se cierran herméticamente con válvulas. Para mantener la circulación horizontal de los gases a través de las cámaras, es preciso que la carga deje libre 1/3 de la sección transversal. La alimentación del combustible se realiza en la parte superior del horno, mediante alimentación manual o con la ayuda de Carbojet (alimentación neumática), la cual debe realizarse en forma dispersa, evitando chorros que provoquen combustión incompleta.

Figura 6. Horno Hoffman.



Fuente: SANTIAGO PÉREZ, Damián y CAÑIZARES TORRES, Herlys. Diagnóstico de los procesos de combustión ejecutados en la industria cerámica en el área metropolitana de San José de Cúcuta. 2012.

3.2.2.11 Horno Hoffman Bock

Cuando se trata de construir un horno en poco tiempo y a bajo costo, o bien cuando se trata de obtener una buena producción en un clima muy cálido como lo es Neiva, se utiliza el horno llamado de Bock, que es un horno Hoffman pero sin bóveda. Para la construcción del horno de Bock, se excavan 2 zanjas en el terreno y se levantan paredes de revestimiento delgadas pues no tienen que soportar la presión de una bóveda. Es condición indispensable para la construcción de un horno de esta clase que el subsuelo sea seco, lo que reafirma a un más su conveniencia en climas cálidos.

3.2.2.12 Horno Bill's Trench Kiln (BTK)

El antecesor del horno Hoffman de Bock bien podría ser el horno Bull's Ring (horno de cámaras, anular u ovalado), el cual consiste básicamente en una sola zanja anular u ovalada excavada en el suelo; sus dimensiones pueden variar considerablemente, aunque el tipo más corriente suele tener un diámetro de 30 a 50 m; la zanja tiene aproximadamente 6 m de ancho por 2,5 m de profundidad. Al terminar de llenar la zanja con los ladrillos que se van a cocer, en los pisos (hiladas) superiores, los ladrillos se colocan unos contra otros (unidos) sirviendo así de bóveda o cobertura del horno; en las capas de cobertura se van dejando abiertos unos orificios convenientemente dispuestos para la introducción del combustible.

3.2.2.13 Horno Hoffman Abierto

De manera antagónica al horno Bull's Ring, el horno Hoffman abierto o Hoffman sin techo aparece como el sucesor del Hoffman de Bock, con lo cual se superaron los inconvenientes derivados de tener un horno enterrado a un nivel diferente del resto de la planta industrial. Al estar completamente expuesto sobre la superficie, el Hoffman sin techo tiene paredes más anchas que sus 2 antecesores para asegurar el aislamiento térmico; sin embargo, sus paredes son más delgadas y de menor complejidad que las paredes de los Hoffman convencionales, pues no tienen que soportar ni el peso ni la presión lateral que ejercen las bóvedas.

3.2.2.14 Horno Túnel

Son hornos continuos, de bajo nivel de contaminación, en donde el material se moviliza mediante vagones que se desplazan a través de la galería. La concepción de este horno responde a la idea de fijar una zona de fuego y hacer pasar los productos a cocer, siguiendo la curva de calentamiento del horno. Ello supone la ventaja de ahorro de calorías en el enfriamiento y precalentamiento del horno, además de la economía de mano de obra en el cargue y descargue de los ladrillos y mayor rapidez en la etapa de cocción. La longitud del horno fluctúa entre 70 a 150 m. El combustible se suministra por la parte superior mediante

un sistema de transporte neumático, el cual disminuye totalmente la contaminación en esta etapa. Este horno es utilizado por industrias altamente tecnificadas y con altos niveles de producción.

Figura 7. Horno Túnel.



Fuente: SANTIAGO PÉREZ, Damián y CAÑIZARES TORRES, Herlys. Diagnóstico de los procesos de combustión ejecutados en la industria cerámica en el área metropolitana de San José de cúcuta.2012.

3.2.2.15 Horno de Rodillos

Los hornos de rodillos son una modificación del horno Túnel, son hornos continuos en donde el material a cocer no es transportado en vagonetas, sino mediante una serie sucesiva de rodillos cerámicos, de donde proviene su nombre. Estos hornos tienen generalmente 2 o 3 líneas de flujo por donde circula el material a cocer. El combustible utilizado en estos hornos es gas y su utilización prevé una economía de combustible. El gas es introducido por la parte lateral; existen varios tipos de quemadores, uno frente al otro, un sistema diferente es que el quemador de la izquierda lanza el fuego hacia la bóveda y el de la derecha hacia la carga a cocer.

3.2.2.16 Horno de Cámaras Múltiples

Consiste en una serie de cámaras individuales pero conectadas entre sí, y comparten el mismo cañón de chimenea. Existe hasta de 20 cámaras en algunos casos, son hornos de alta producción. Su funcionamiento es muy sencillo, el encendido se inicia en la primera cámara haciendo pasar el calor residual de los gases de combustión a las siguientes cámaras para precalentar y completar el secado de los productos cargados, cuando la primera cámara ha alcanzado la temperatura de cocción, la segunda cámara estará entre los 300 a 400°C., para cuando esto suceda se inicia la combustión en la segunda cámara y la tercera cámara aprovechará el calor residual de la segunda cámara así sucesivamente hasta completar la serie, cabe indicar que cada cámara tiene su compuerta para la combustión. Estos hornos son

muy eficientes puesto que reducen enormemente el tiempo de operación, como también los costos de operación.

Figura 8. Horno cámaras Múltiples.



Fuente: SUMA QUISPE, Celso. GUTIÉRREZ SAMANES, Julio y SUMA QUISPE, Rodolfo. Estudio de definiciones de tipo de horno apropiado para el sector ladrillero. 2008. Pág. 61.

3.2.2.17 Horno Vertical VSBK

El horno vertical – VSBK, por sus siglas en inglés, consta de una o más cámaras situadas dentro de una estructura de bloques rectangulares. Estas son de 1 a 1,25 metros de ancho con una longitud nominal de 1 m, 1,5 m, 1,75 m o 2,0 m. La altura del horno varía dependiendo el número de lotes que se vayan a cocer por ciclo, generalmente es entre 8 y 13 lotes. La cámara se carga desde la parte superior con un lote de ladrillos crudos. Cada lote contiene típicamente cuatro capas de ladrillos colocados en un patrón predeterminado. Este lote descansa sobre unas barras de apoyo cuadradas, las cuales se puede remover o insertar, y apoyado a su vez por un par de vigas horizontales a través de los arcos en el túnel de descarga. Para la evacuación de los gases de escape se disponen de dos chimeneas rectangulares en las esquinas opuestas de cada cámara. Se utilizan unas cubiertas para cubrir la parte superior de la cámara dirigiendo los gases de la chimenea a través del cañón de la misma.

Figura 9. Horno Vertical VSBK.



Fuente: Horno Ecológico. Como evitamos la contaminación [En línea]. (Junio de 2008). Disponible en: <<https://ladrillo.wordpress.com/tag/horno-ecologico/>>

3.2.2.18 Horno MK

El Horno MK es un horno que busca canalizar el flujo (Energía y gases de combustión) a través de la arcilla cruda. Para logra esto es necesario considerar un horno de dos etapas. En primer lugar, para canalizar el flujo a través de arcilla, era necesario para cubrir el techo abierto del horno tradicional. Esta etapa por sí sola genera una reducción de las emisiones dañinas (PM, SO_x, NO_x, CO), debido a que el horno se hizo más eficiente térmicamente y su quema más limpia, mientras que una pequeña chimenea de escape de combustión permite un flujo adecuado. En segundo lugar, la chimenea estaba cubierta y el efluente del horno se alimenta, a modo de conectar los canales de flujo, a través de un horno doble lleno de ladrillos sin cocer, que sirvió como un filtro de elemento pasivo para reducir aún más las emisiones. El papel activo y pasivo de los dos hornos se invierten en el éxito quemar, y así sucesivamente.

Figura 10. Horno MK-2.



Fuente: MÁRQUEZ, Roberto. Operación y mantenimiento de hornos tipo MK-2.

3.2.2.19 Horno MK-3

El MK-3 es una modificación del horno MK original, el sistema se compone de tres hornos modulares, en vez de dos, que se caracterizan por estar interconectados por túneles subterráneos por los cuales circulan los gases calientes de cocción de uno a otro módulo. El funcionamiento es simultáneo en dos de ellos (uno de cocción y el segundo de calentamiento), mientras que el tercero está siendo vaciado y posteriormente cargado con ladrillos crudos. Así se produce una suerte de rotación y trabajo continuo.

3.2.2.20 Fases en el proceso de cocción de la arcilla y la cerámica²⁷

Hasta los 200°C se presenta la evacuación del agua residual no eliminada en el secado. Si esta eliminación no es gradual o si el contenido de agua es alto se presentan roturas debido a contracciones. Esta etapa se conoce como caldeo.

Entre 200°C y 400°C se oxida el material orgánico.

Entre 450°C y 650°C se modifica la estructura del material arcilloso. Es donde se elimina el agua de constitución molecular, produciéndose una contracción y un endurecimiento irreversible.

A 573°C ocurre la transformación alotrópica del cuarzo (cambio en el sistema cristalino del cuarzo, en este caso de la arcilla) produciéndose una dilatación. Este proceso es reversible y tiene gran importancia en el enfriamiento.

²⁷ ECOCARBÓN–EELA, Universidad Pontificia Bolivariana. Centro de Investigación para el desarrollo integral (CIDI), Hornos ladrilleros a carbón. 1998.

Entre 680°C y 800°C tiene lugar la descarbonatación (liberación de CO₂) de las arcillas calcáreas. El desprendimiento rápido de CO₂ de las arcillas calcáreas puede producir roturas o burbujas. La descarbonatación debe finalizar antes de iniciar la vitrificación para evitar florescencias.

Por encima de 800°C inicia la vitrificación. La temperatura máxima requerida depende del tipo de material utilizado.

Finalmente, el material se somete a la etapa de enfriamiento bajando gradualmente su temperatura. En los puntos más críticos (alrededor de los 570°C), no es aconsejable enfriar a una velocidad superior de 15°C/h, esto quiere decir que la cocción de los ladrillos es un proceso que requiere de un buen control para llevarlo a cabo con el mínimo desperdicio.

A continuación se presenta el proceso que sufre la arcilla para la fabricación de ladrillos en la empresa Ladrillera Ocaña.²⁸

3.2.3 Proceso de producción en la Ladrillera Ocaña

A continuación se presenta la transformación que sufre la materia prima en cada una de las etapas de producción del ladrillo en la empresa Ladrillera Ocaña.

3.2.3.1 Proceso de alimentación

Luego de trasportar la materia prima de la mina al cajón alimentador a través de una retroexcavadora (Ver figura 11), se inicia el almacenamiento del material de manera uniforme, para luego ser distribuido en proporciones adecuadas a las máquinas por medio de bandas transportadoras (Ver figura 12).

Figura 11. Cajón alimentador.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

²⁸ Empresa Ladrillera Ocaña. 2015.

Este equipo es capaz de equilibrar y racionar la mezcla (materia prima) para el correcto funcionamiento del equipo, Ajustando la altura y la velocidad de la cinta transportadora, entre otras cosas dosifica en forma exacta la cantidad de materia prima necesaria para obtener un ladrillos uniforme y de excelente calidad.²⁹

Figura 12. Salida del material.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

3.2.3.2 Transporte de la materia prima

Para dirigir el material en todo el proceso se utilizan bandas transportadoras guiadas por rodillos, según lo informado se alcanza una producción entre 11 a 16 toneladas hora, este mecanismo se caracteriza por su estructura robusta de fácil manutención (Ver Figura 13).

Figura 13. Banda transportadora.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

²⁹ MAQUINAS IMPORTADAS. Alimentador de cuadro.

3.2.3.3 Trituración del material

El primer procedimiento que recibe la materia prima es hecho por el desterronador (Ver figura 14), donde el proceso de trituración en la arcilla lo lleva a cabo las cuchillas montadas sobre dos ejes robustos paralelos que giran a diferentes velocidades (Ver figura 15).

Figura 14. Desterronador.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Figura 15. Cuchillas.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

3.2.3.4 Disminución del tamaño del grano de la arcilla

Luego de pasar el material por el desterronador, se transporta por bandas al desintegrador (ver figura 16) este equipo adecuado para la trituración de terrones de arcilla de mediano tamaño según lo observado, transformándolos en granulometrías de 5,0 a 20 mm para una

producción estimada de 15 a 30 toneladas hora. Este equipo se caracteriza por su mecánica sencilla y estructura robusta de fácil manutención y por la trituración uniforme facilitando el trabajo de las maquinas siguientes.

Figura 16. Desintegrador.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

3.2.3.5 Laminado de la arcilla

Trasportada la materia prima por banda del desintegrador, se traslada al molino laminador uno (ver figura 17), que es de alta resistencia al desgaste y de molienda fina, gracias a su compacta estructura es más estable en funcionamiento, poco ruidoso y menos polvo en el proceso. Esta máquina es imprescindible para la molienda de arcilla, es la maquina más adecuada para la reducción del material, consiguiendo una masa uniforme que garantice una mayor calidad del moldeo.

Figura 17. Molino Laminador.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Figura 18. Salida del material.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

3.2.3.6 Amasado del material

Luego el material es transportando por banda a la amasadora uno (Ver figura 19), este mezclador es un equipo adecuado para la homogenización y mezclado de la arcilla.

Su funcionamiento se basa en dos ejes sincronizados a bajas revoluciones, en los cuales se encuentran enclavadas las palas mezcladoras, las cuales hacen a pasar el material a lo largo de los ejes que son accionados por un motor (Ver figura 20). También el proceso se le adiciona la cantidad de agua requerida si es necesario dependiendo el material procesado.

El proceso de mezcla y humectación de las partículas se lleva acabo debido a presiones y movimientos relativos efectuados entre las palas mezcladoras y el material de trabajo en nuestro caso la arcilla, que va ser enviada al segundo molino laminador para continuar con el proceso.³⁰

Figura 19. Amasadora.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

³⁰ DOMENECH. Cerámicas.

Figura 20. Paletas Mezcladoras.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

3.2.3.7 Paso del material por el segundo laminador

Luego de salir la materia prima de la amasadora uno, se trasporta por banda al laminador dos (ver figura 21), que realiza el mismo proceso del molino laminador uno y envía la mezcla más fina ala amasadora dos (Ver figura 22).

Figura 21. Molino laminador dos.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

3.2.3.8 Paso del material por la amasadora dos

El material luego es enviado por bandas hacia la amasadora dos (ver figura 22), que realiza la misma función de la primera, pero las paletas mezcladoras son menos compactas y más pequeñas (Ver figura 23), en este proceso ya se envía la acilla final para entrar a la extrusora.

Figura 22. Amasadora dos.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015

Figura 23. Paletas mezcladoras.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015

3.2.3.9 Extrusión de la arcilla

La arcilla ya en su punto final de preparación, se traslada a la extrusora (ver figura 24), su principal función es la extrusión de materiales arcillosos. En su proceso la arcilla entra por la parte superior de la maquina donde cae en un sistema de dos ejes paralelos con paletas que reciben la mezcla y la van llevando hacia el interior del tornillo sin fin que se encargara de impulsar la mezcla para la extrusión de la arcilla en un ladrillo compacto.

Figura 24. Extrusora.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

3.2.3.10 Cortado del ladrillo

Se utiliza una cortadora automática (ver figura 25), su principal función es realizar el corte del material ya extruido en el tiempo y distancia requerida para la elaboración del boque o ladrillo. Tiene un excelente mecanismo que brinda una confiabilidad en sus cortes, alcanza una producción entre 4000 cortes hora según lo informado en la empresa, luego estos ladrillos finalmente son llevados y almacenado en los secadores.

Figura 25. Cortadora automática.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

3.2.3.11 Bomba al vacío

Este equipo funciona en conjunto con la extrusora de ladrillos, ya que esta presta la función de extraer las moléculas de vapor de agua que se generan en el proceso de extrusión del ladrillo, también ayudada a extraer sustancias no deseadas del producto (Ver figura 26).

Figura 26. Bomba al vacío.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

3.2.3.12 Stoker

El Stoker (ver figura 27), es un equipo adecuado y utilizado para la inyección de carbón hacia la hornilla (Rejilla horizontal a media altura donde se prepara el calor que se enviara al extractor), donde el carbón de alimentación se lleva atreves de una tolva y la inyección de carbón por medio de un tornillo sin fin de gran longitud. El quipo puede durar un tiempo estimado de tres horas inyectando carbón de forma automática a un nivel de tolva llena.

Figura 27. Stoker.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015

3.2.3.13 Conducción de aire caliente a secaderos

Para el secado adecuado de los ladrillos que van hacer quemados en el horno es necesario crear un ambiente a alta temperatura para disminuir el porcentaje de humedad, esto se realiza atreves de un extractor (Ver figura 28), que es un equipo que se encarga de inyectar o conducir el calor que produce la hornilla.

Figura 28. Extractor.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

3.2.3.14 Distribución del calor en los secaderos

Para la recirculación del aire caliente brindado por el extractor se utiliza un carro ventilador (ver figura 29), este carro de translación es un equipo adecuado para agitar y homogenizar el flujo de aire caliente dentro de la cámara de secado.

Figura 29. Carro ventilador.



Fuente: Ladrillera Cúcuta. 2011.

3.2.3.15 Preparación del carbón

Otros procesos importantes en la empresa es preparar el carbón, esto lo hace a través del molino de martillos (ver figura 30), que es un equipo adecuado para la trituración de carbón, transformándolo en partículas diminutas para el debido proceso y se utiliza un sistema de bandas para dirigir el carbón a la máquina.

Figura 30. Molino de martillos.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

3.2.3.16 Preparación del ladrillo de Quema

Luego de sacar gran parte de la humedad en los secaderos a los ladrillos, se dispone a cargarlos al horno en apiles de 660 bloques (Ver figura 31), los cuales deben llevar una configuración adecuada (Ver figura 32), luego se dispone a sellar las puertas con una pared provisional (Ver figura 33), la cual es derribada después de terminar la quemar del material, Así el ladrillo es enfriado a través de un ventilador de alta potencia, para poder retirar el producto por los trabajadores.

Figura 31. Cargado del horno.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Figura 32. Configuración del ladrillo.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Figura 33. Sellado de la puerta.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

3.2.3.17 Inyección del carbón al horno de quemado de ladrillos

Este proceso se realiza con un equipo llamado Carbojet (ver figura 34), según lo informado este equipo es adecuado para la inyección del carbón al proceso de cocción de los materiales, alcanza una inyección de carbón de 8Kg a 12Kg por minuto para mantener la temperatura requerida en el horno.

Figura 34. Carbojet.



Fuente: MAQUILOB. Colombia.

Después que el Carbojet realice la quema de cierta cantidad de apiles, se dispone a tumbar las puertas de los apiles (Ver figura 35), ya quemados por los trabajadores y a sacar el calor entre apiles por medio de un ventilador de alta potencia para así poder sacarlos y almacenarlos para su respectiva comercialización.

Figura 35. Ladrillo final.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

3.2.4 Producción de bloques en ladrilleras artesanales.

3.2.4.1 Preparación de la arcilla

Primero los artesanos llenan la pileta con tierra seca, luego se deposita cierta cantidad de agua (Ver figura 36), y se deja reposar por un determinado tiempo para que el material se logre humedecer. El proceso de mezclado utilizado (Ver figura 37), se trata de aprovechar el caminar de los caballos por un tiempo de dos horas, para lograr que la arcilla quede en su punto adecuado para luego ser almacenada y moldeada.

Figura 36. Pileta de almacenamiento.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015

Figura 37. Amasado del material.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

3.2.4.2 Moldeo del ladrillo

En este punto del proceso, la arcilla ya preparada es llevada a un molde de forma manual (ver figura 38), en el cual se debe conseguir a través de la manos que el material quede bien compactado y sin espacios interiores que puedan dañar el bloque a la hora de la quema.

Figura 38. Moldeado del ladrillo.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

3.2.4.3 Secado del ladrillos

Como no se cuenta con secaderos artificiales, los artesanos deben dejar los ladrillos a la luz del sol para que se sequen de forma natural (Ver figura 39), lo cual puede durar varios días de dependiendo las condiciones climatológicas. Además cuando el ladrillo pierda gran parte de la humedad presente, deben ser almacenados bajo techo hasta que completen la cantidad de ladrillos requeridos por el horno (Ver figura 40).

Figura 39. Moldeado del ladrillo.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Figura 40. Almacenamiento.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015

3.2.4.4 Preparación del ladrillo la quema

Este sistema de quema consiste en depositar cierta cantidad del carbón en los espacios que quedan entre ladrillos de forma ordenada en todo el horno, lo cual garantizara la quema de todos los ladrillos (Ver figura 41).

Figura 41. Ubicación del bloque en un horno circular.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

En los hornos rectangulares la cantidad de carbón por quema suele ser mayor, ya que la configuración del bloque demanda más carbón. (Ver figura 42).

Figura 42. Ubicación del bloque en un horno rectangular.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

3.2.4.5 Quema

Al terminar de cargar el horno se sella la puerta a través de una pared de ladrillos (Ver figura 43), se enciende el horno y empieza la quema que puede durar entre 7 a 6 días, dependiendo la capacidad del horno. Luego que se halla quemado todo el carbón mineral se abre la puerta del horno y se deja un periodo de enfriamiento para poder sacar el ladrillo que se va a comercializar (Ver figura 44-45).

Figura 43. Carbón utilizado.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Figura 44. Quema en un horno circular.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015

Figura 45. Quema en un horno rectangular.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

3.2.5 Tipos de Contaminantes ³¹

Uno de los principales criterios respecto a los contaminantes del aire es que se dividen en dos tipos, los que son directamente emitidos a la atmósfera por una fuente de emisión (Contaminantes Primarios), y los que son el resultado de reacciones en la atmósfera a partir de contaminantes primarios y otras especies químicas que están presentes en el aire (Contaminantes Secundarios).

En Normas a nivel mundial y nacional para determinar si el aire se encuentra contaminado se establecen especies químicas denominadas contaminantes criterio, donde en Colombia son conocidas como: Monóxido de carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Óxidos de Azufre (SO_x), Ozono Troposférico (O₃), Partículas Suspendidas de diámetro menor a diez micras (PM₁₀) y las Partículas Suspendidas totales (PST).

3.2.5.1 Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono es un compuesto parcialmente oxidado que resulta de la combustión incompleta. Se forma cuando la temperatura del gas y / o la concentración de oxígeno del gas es insuficiente para producir la oxidación de monóxido de carbono en dióxido de carbono. Es inodoro, incoloro y tóxico. Es letal a altas concentraciones y causa efectos sobre el sistema nervioso (pérdida de visión e incapacidad para realizar tareas complejas).

3.2.5.2 Óxidos de Nitrógeno

Hacen referencia a la combinación de Óxido Nítrico (NO) y Dióxido de Nitrógeno (NO₂). Son promotores de smog fotoquímico y lluvia ácida, así como de partículas secundarias tóxicas y mutagénicas (ej. Nitrosaminas). El NO se forma por la fusión del nitrógeno molecular (N₂) y el oxígeno molecular (O₂) que se encuentran en el aire.

Los Óxidos de Nitrógeno se forman al mismo tiempo en los procesos de combustión y otras operaciones industriales que manejan altas temperaturas, tales como los hornos de la industria metalúrgica, los altos hornos y los hornos de plasma entre otros. Los óxidos de nitrógeno también puede ser liberados de las plantas de ácido nítrico y otros tipos de procesos industriales que incluye la generación y / o el uso de ácido nítrico (HNO₃).

³¹ SIAC. Sistema de información Ambiental Colombiana. Fuentes Contaminantes. [En línea]. (2013). Disponible en: <https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=462&conID=614> < [Citado el 19 de febrero de 2015]

Es conocido que los óxidos de nitrógeno se forman durante la combustión de combustible fósil en la presencia de aire. A temperaturas elevadas, el nitrógeno del aire y el combustible reacciona con el oxígeno para formar óxidos de nitrógeno.

3.2.5.3 Óxidos de Azufre (SO_x)

Los óxidos de azufre se encuentran en la atmósfera en forma de dióxido de azufre (SO₂), trióxido de azufre (SO₃) y ácido sulfúrico (H₂SO₄). Son excelentes núcleos de condensación razón por la cual generan problemas de visibilidad en la atmósfera. Corroen materiales, son promotores de lluvia ácida y de partículas secundarias que exacerban las enfermedades respiratorias y cardiacas (sulfatos).

El dióxido de azufre es un gas incoloro, que es moderadamente soluble en agua y líquidos acuosos. Se forma principalmente durante la combustión de los combustibles que contienen azufre siendo así un contaminante primario.

3.2.5.4 Ozono Troposférico (O₃)

Este tipo de ozono es un contaminante que se genera en forma fotoquímica (es decir, una reacción provocada por la luz solar) en la troposfera (parte más baja de la atmósfera) debido a la presencia de óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles (COV) y monóxido de carbono (CO). Las tasas de emisión de estos compuestos precursores son reguladas con el fin de reducir al mínimo la tasa de formación de ozono y los productos de la reacción fotoquímica de otros.

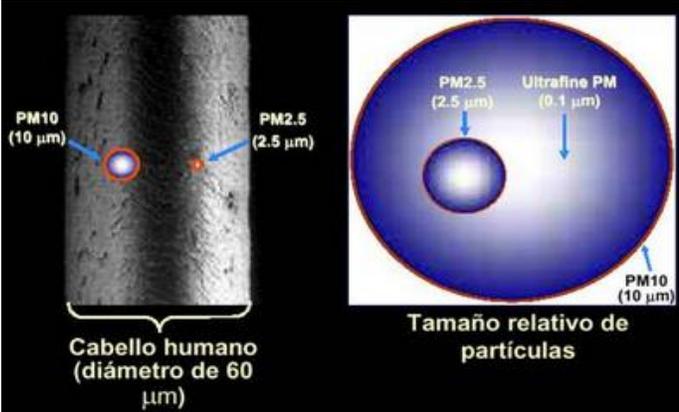
3.2.5.5 Material Particulado (PM)

La característica más importante de las partículas (PM) es su tamaño. Esta propiedad tiene el mayor impacto en el comportamiento de las partículas en el equipo de control, la atmósfera, y el tracto respiratorio.

Las partículas de importancia en el control de la contaminación atmosférica abarcan una amplia gama de tamaño, desde el extremadamente pequeño como de 0.001 μm (micrómetro, 10⁻⁶ m), a más de 1.000 micrómetros (1 mm).

Principalmente se monitorean y estudian las partículas de tamaños que se encuentran entre los 0.01 y 10 μm, que son las más peligrosas para la salud y tienen la capacidad de penetrar al tracto respiratorio. A manera de ejemplo, un cabello humano tiene un diámetro de unos 60 micrómetros aproximadamente.

Figura 46. Material Particulado.



Fuente: SIAC. Sistema de información Ambiental Colombiana.

3.2.5.6 Partículas Suspendidas totales (PST)

Son todas las partículas que se encuentran en el aire sin importar su tamaño.

3.3 MARCO LEGAL

3.3.1 Universidad Francisco de Paula Santander

Acuerdo 065 de 1996. El cual establece el estatuto estudiantil que es el regente actual en la institución.

ARTICULO 140. El estudiante podrá optar por una de las siguientes modalidades del trabajo de grado:

a. Proyecto de Investigación

- Monografía
- trabajo de investigación: Generación o aplicación de conocimiento.
- Sistematización del conocimiento

b. Proyecto de Extensión Trabajo social

- Labor de consultora en aquellos proyectos en los cuales participe la Universidad.
- Trabajo social
- Labor de consultoría en aquellos proyectos en los cuales participe la universidad
- Pasantía
- Trabajo dirigido

PARAGRAFO 1. El estudiante podrá optar como componente alterna al proyecto de grado, créditos especiales como cursos de profundización académica o exámenes preparatorios.

PARAGRAFO 2. Para algunos planes de estudio y de acuerdo a sus características el Consejo Académico podrá obviar la presentación de trabajo de grado.

ARTICULO 141. El proyecto de grado incluye las siguientes etapas:

a. Presentación del anteproyecto o plan de trabajo según corresponda a la modalidad del Proyecto seleccionado.

b. Desarrollo de la investigación o ejecución física del proyecto.

C. Sustentación de la investigación y/o verificación o aval de la realización del proyecto.

PARAGRAFO 1. Para todas las modalidades de proyecto de grado, el estudiante deberá presentar un informe final avalado por su director.

ARTICULO 142. Las condiciones y procedimientos para la presentación, desarrollo y evaluación de cada una de las modalidades de trabajo de grado, o sus componentes alternas, harán parte de la reglamentación específica de cada Facultad, para cada plan de estudios.

PARAGRAFO. La Universidad incorporará los trabajos de Grado, como componente básico de su hacer y creará bancos de proyectos en los Departamentos Académicos y en la Vicerrectoría Asistente de Investigación y Extensión.

3.3.2 Convenios Internacionales Relacionados con contaminantes atmosféricos ³²

Colombia ha ratificado diferentes convenios internacionales para la protección del medioambiente y calidad del aire.

Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono/Ley 30 del 5 de marzo de 1990. Este convenio busca tomar las medidas apropiadas para proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos adversos resultantes o que puedan resultar de las actividades humanas que modifiquen o puedan modificar la capa de ozono.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático/Ley 164 del 27 de octubre 1994. Su objetivo es establecer las concentraciones atmosféricas de gases efecto invernadero - GEI, a niveles que impidan que las actividades humanas afecten peligrosamente al sistema climático mundial.

Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono/Ley 29 de 1992. Su objetivo es proteger la capa de ozono adoptando medidas preventivas para controlar equitativamente el total de emisiones mundiales de las sustancias que la agotan, con el fin de eliminarlas, sobre la base de los adelantos en los conocimientos científicos, teniendo en cuenta aspectos técnicos y económicos.

Colombia también ha ratificado las enmiendas de Londres y Copenhague al Protocolo de Montreal.

Protocolo de Kyoto relativo a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático/Ley 629 del 27 de diciembre de 2000. Su fin fue promover el objetivo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y dar cumplimiento al Mandato de Berlín, en el cual se acordó iniciar un proceso que permitiera adoptar acciones adecuadas para el periodo posterior al año 2000.

³² UNAD. Universidad nacional abierta y a Distancia. Convenios Internacionales relacionados con contaminantes atmosféricos. [En línea]. Disponible en:
<http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358007/Contenido_en_linea_Caraterizacion/leccin_30_legislacin_ambiental_nacional_y_convenios_internacionales_relacionados_con_contaminantes_atmosfricos.html>

3.3.3 Normativa ambiental en Colombia ³³

En Colombia el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial a través de la resolución 909 estableció normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas al sector industrial cerámico ya que en sus procesos de producción generan gases contaminantes que deterioran el ambiente.

Artículo 30. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.

En la Tabla 3 se establecen los estándares de emisión admisibles para las industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla a condiciones de referencia y con oxígeno de referencia del 18%. Dichos estándares deben cumplirse en cada uno de los puntos de descarga de las industrias para la fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.

Tabla 3. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 18%.

Combustible	Estándares de emisión admisibles (mg/m ³)		
	MP	SO ₂	NO _x
Solido	250	550	550
Líquido	250	550	550
Gaseoso	NO APLICA	NO APLICA	550

Fuente: Resolución 909, Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Artículo 31. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias nuevas de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.

En la Tabla 4 se establecen los estándares de emisión admisibles para las industrias nuevas de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla a condiciones de referencia y con oxígeno de referencia del 18%. Dichos estándares deben cumplirse en cada uno de los puntos de descarga de las industrias para la fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.

³³ Resolución 909, Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2008. 43 Pág.

Tabla 4. Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para las industrias nuevas de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 18%.

Combustible	Estándares de emisión admisibles (mg/m ³)		
	MP	SO ₂	NO _x
Sólido	50	500	500
Líquido	50	500	500
Gaseoso	NO APLICA	NO APLICA	500

Fuente: Resolución 909, Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Artículo 32. Estándares de emisión admisibles de contaminantes peligrosos al aire para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.

En la Tabla 5 se establecen los estándares de emisión admisibles de contaminantes peligrosos para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla a condiciones de referencia y con oxígeno de referencia del 18%. Dichos estándares deben cumplirse en cada uno de los puntos de descarga de las industrias para la fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.

Tabla 5. Estándares de emisión admisibles de contaminantes peligrosos al aire para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 18%.

Combustible	Estándares de emisión admisibles de contaminantes peligrosos (mg/m ³)	
	HCl	HF
Todos	40	8

Fuente: Resolución 909, Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Parágrafo: La autoridad ambiental competente solicitará el cumplimiento de los contaminantes peligrosos establecidos en la Tabla 5 a menos que el industrial demuestre que el contenido de flúor y cloro de las materias primas utilizadas en el proceso no genera los contaminantes allí señalados.

Artículo 33. Temperatura de los gases emitidos por las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla. La temperatura de los gases emitidos por las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla para hornos continuos no debe exceder 180 °C. Para el caso de hornos discontinuos la temperatura no debe exceder 250 °C durante la etapa de máximo consumo de combustible.

Además el ministerio de ambiente y desarrollo sostenible en la resolución 802 de 2014 adiciona.

PARÁGRAFO. Los procesos de vitrificación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla en los que se demuestre a través de mediciones directas de las emisiones, que el contenido de cloro (Cl) y flúor (F) de las materias primas e insumos utilizados en el proceso, no generan emisiones detectables de compuestos orgánicos que contengan cloro (Cl), ácido clorhídrico (HCl) y ácido fluorhídrico (HF), el rango de temperatura de los gases emitidos será hasta 400 °C durante la etapa de máximo consumo de combustible.

Artículo 34. Características de las mediciones directas en hornos en industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla.

Las mediciones directas en hornos discontinuos de industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, debe realizarse de acuerdo a lo establecido en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. Para efectos de la medición, el industrial debe informar a la autoridad ambiental competente, la fecha y hora en la que inició el proceso de cocción, así como la carga de material, el consumo y características del combustible y de las materias primas.

Artículo 69. Obligatoriedad de construcción de un ducto o chimenea. Toda actividad que realice descargas de contaminantes a la atmósfera debe contar con un ducto o chimenea cuya altura y ubicación favorezca la dispersión de éstos al aire, cumpliendo con los estándares de emisión que le son aplicables.

Artículo 70. Determinación de la altura del punto de descarga. La altura del punto de descarga (chimenea o ducto) se determinará con base en la altura o el ancho proyectado de las estructuras cercanas, entre otros criterios, siguiendo las Buenas Prácticas de Ingeniería tanto para instalaciones existentes como nuevas, establecidas en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. En todo caso la altura mínima debe garantizar la dispersión de los contaminantes.

Artículo 71. Localización del sitio de muestreo. Todas las actividades industriales, los equipos de combustión externa, las actividades de incineración de residuos y los hornos crematorios que realicen descargas de contaminantes a la atmósfera deben contar con un sistema de extracción localizada, chimenea, plataforma y puertos de muestreo que permitan realizar la medición directa y demostrar el cumplimiento normativo.

La altura de la chimenea, diámetro y localización de los puertos de muestreo deben construirse de acuerdo a los métodos y procedimientos adoptados en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas.

3.3.4 Números CO Para Recordar

Aunque hay varias fuentes que causan CO sobreexposición condiciones, hay algunos problemas comunes relacionados a la combustión, como una ventilación inadecuada, edificios apretados, y los combustibles que liberan CO.³⁴

Tabla 6. Valores de CO límites.

PPM CO	Tiempo	Síntomas
9 PPM	24 horas	Límite Nacional de calidad del aire ambiente para el CO (al aire libre de la EPA) (interior ASHRAE) CO nivel "Acción" para muchas organizaciones de seguridad pública
35 PPM	8 horas	De exposición máxima de trabajo de 8 horas (OSHA)
200 PPM	3 horas	Dolor de cabeza leve, fatiga, náuseas y mareos.
400 PPM	2 horas	Serio dolor de cabeza, mareos y náuseas. En peligro la vida después de 3 horas
800 PPM	45 min	Mareos, náuseas, convulsiones y pérdida del conocimiento. Muerte dentro de 2-3 horas.
3200 PPM	5-10 min	Mareos, náuseas, convulsiones y pérdida del conocimiento. Muerte dentro de 25 a 30 min.
6400 PPM	1-2 min	Muerte dentro de 10 a 15 minutos.
12800 PPM	30 seg.	Muerte dentro de 1-3 minutos.

Fuente: UEi, EAGLE. Analizador de gases de combustión. 2007.

³⁴ UEi, EAGLE. Analizador de gases de combustión. 2007.

4. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se desarrolló en este proyecto fue descriptiva.

Descriptiva: Se analizarán los datos obtenidos en las pruebas realizadas, categorizando numéricamente el rendimiento energético de los hornos y se comparará las emisiones contaminantes generadas por la combustión de los hornos con los estándares de emisión admisibles de contaminantes peligrosos al aire, para las industrias dedicadas a la fabricación de productos de cerámica.³⁵

4.1.1 Población

La población para esta investigación serán los hornos que se dedican a la explotación y transformación de arcilla en Ocaña Norte de Santander. Según lo investigado se encontraron 30 empresas en la región. (Ver Anexo A).

4.1.2 Muestra

La muestra que se estableció para el desarrollo del proyecto fue de tres hornos. El Hoffman de la ladrillera Ocaña, uno circular de la ladrillera el Recreo 2 y uno rectangular de la ladrillera el Estanco, donde se analizó el proceso de cocción de los hornos mediante un balance termodinámico caracterizando el rendimiento energético de los mismos con los resultados obtenidos, además se evaluaron las emisiones producto de la combustión en los hornos a través de las normas ambientales actuales.

4.2 FASES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

A continuación se presentan las fases del proyecto, para cumplimiento de los objetivos específicos se plantean las actividades correspondientes para el desarrollo de la investigación.

4.2.1 FASE I. Ubicación y selección de las empresas ladrilleras del municipio de Ocaña para el estudio

En esta etapa del proyecto, se hizo un recorrido hacia las zonas aledañas e interiores de la región identificando las empresas ladrilleras, el tipo de horno y requerimientos del mismo. Luego se escogieron los hornos de acuerdo al diseño geométrico, ya que se quiso estudiar hornos cilíndricos, rectangulares e híbridos para observar diferencias de desempeño energético.

³⁵ TAMAYO Y TAMAYO, Mario. El proceso de la Investigación Científica: 4a edición. México. LIMUSA, 2003. 175 Pág. CANIEM; N° 121. ISBN 968-18-5872-7

4.2.2 FASE II. Calculo de los flujos de energía presentes en los hornos

Luego de identificar los flujos de calor presentes en los hornos ladrilleros (Acumulación de calor en mampostería, calor por carga del material a coser, calor para sacar la humedad del material, calor necesario para la descomposición química de arcilla, calor por humedad de carbón, calor por agua formada en la combustión, calor por humedad de aire, calor por inquemados, calor por pared, calor por humos), se determinó cada uno con el fin de realizar cada balance térmico por horno seleccionado. Para lo cual fue necesario contar con los perfiles de temperaturas en distintos puntos del horno del proceso de cocción, propiedades del combustible utilizado, medidas y volúmenes del horno.

Estas temperaturas fueron censadas en el proceso de cocción, a través de un programa en Lab View, el cual está diseñado para censar diferentes temperaturas al tiempo en intervalos requeridos, a través de una tarjeta, chasis de adquisición, termopares de bulbo tipo K con aislamiento cerámico, termopares tipo k con recubrimiento y cable de conexión, los cuales se instalan de forma adecuada al horno para registrar y almacenar las temperaturas que se utilizaran en los flujos de energía.

4.2.3 FASE III. Calculo del rendimiento energético de los hornos

En esta etapa del proyecto se determinó la eficiencia de los hornos a través de la evaluación en los balances de energía calculados, ya que al conocer el rendimiento de los hornos, se sabrá si la energía que se está suministrando al proceso se está aprovechando toda además se podrá caracterizar los hornos e identificar en que están fallando las empresas ladrilleras si su horno es de baja eficiencia.

4.2.4 FASE IV. Determinar las concentraciones de gases emitidas a la atmosfera por los hornos

Aquí se identificaron las fuentes de emisión de gases que se descargan a la atmosfera por los hornos, luego se definieron los parámetros de muestreo para fuentes fijas para producción de elementos cerámicos (Tipo de analizador de gases, número de corridas o tiempo de medición, cantidad de mediciones, tipo de gases a analizar y seguridad). Ya definido los puntos de muestreo se realizaron tomas o pruebas de emisiones por medio de un analizador de gases de combustión portátil, el cual permite obtener en tiempo real las concentraciones de gases presentes en la combustión de combustible de quema.

Con los resultados obtenidos a través del analizador de gases de combustión, se analizaron y se compararon con los valores permisibles establecidos por la autoridad ambiental para identificar si las empresas están cumpliendo con la norma de calidad del aire.

5. DESARROLLO DEL PROYECTO

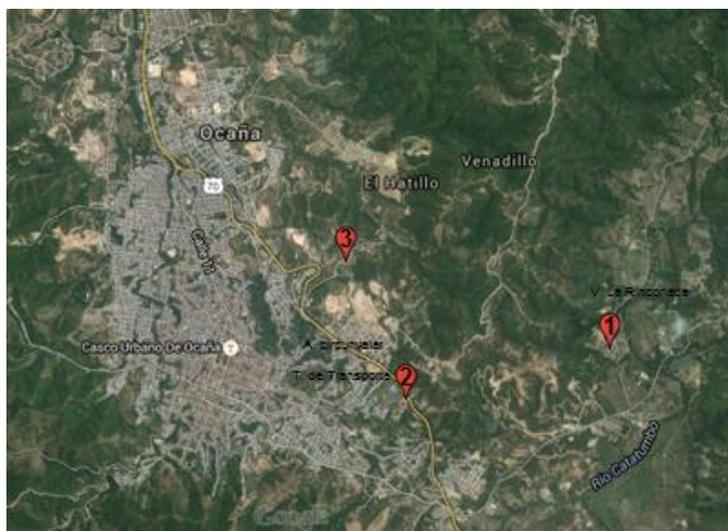
5.1 UBICACIÓN Y SELECCIÓN DE LAS EMPRESAS LADRILLERAS

Para el desarrollo del proyecto, se visitó gran parte de empresas ladrilleras (chircales) que operan artesanalmente en la región. Las cuales cuentan en su mayoría con hornos circulares y rectangulares para la producción de bloque común, ladrillo H-10 y tejas utilizando como combustibles para la quema aserrín y carbón mineral.

En Ocaña solo se encuentra un horno Tipo Hoffman de la empresa Ladrillera Ocaña de proceso Continuo, especialmente dedicada la fabricación de ladrillo tipo H-10x30, donde el combustible utilizado es el carbón pulverizado y se encuentra situada en la vía a la Vereda la Rinconada.

En total se escogieron tres empresas ladrilleras para el estudio, dos artesanales (chircales), ladrillera el Recreo 2 (Horno Circular.), Ladrillera el estanco (Horno rectangular.) y el horno Hoffman de la ladrillera Ocaña.

Figura 47. Ubicación geográfica de las empresas ladrilleras.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Tabla 7. Clasificación geográfica.

Nº	Nombre	Tipo de Horno
1	Ladrillera Ocaña	Hoffman
2	Ladrillera el Recreo 2	Circular
3	Ladrillera el Estanco	Rectangular

Fuente: Aplicación Google Maps.

5.1.1 Ladrillera Ocaña

Esta empresa está dedicada a la producción en serie de ladrillos para la construcción, cuentan con un horno tipo Hoffman (Ver figura 48), que está compuesto de 24 cámaras repartidas en 12 por cada costado, para la quema continua de ladrillo H-10*30 principalmente configurado en apiles de 660 bloques por todo el horno, con una producción de 44 apiles, donde el tiempo de monitoreo a través de los sensores de adquisición fue de 22,6 horas.

El combustible utilizado para la cocción del material es el carbón pulverizado, donde el consumo de carbón por mes es de 170 Ton / mes.

En este horno la quema se realiza gracias a dos Carbojet ubicados en la parte superior del horno, los cuales son desplazados y recargados de carbón de forma manual por el operador durante un tiempo de una hora (Por precalentamiento y requema de producto), donde uno de estos inicia primero con el precalentado de dos cámaras antes que pase el segundo Carbojet requemando el ladrillo. Esto lo hacen a través de mangueras metálicas ubicadas en los agujeros de la cúpula que desplazan el combustible al interior del horno.

Figura 48. Horno Hoffman.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.1.2 Ladrillera el Recreo dos

En este tipo de horno todos los procesos se realizan de forma artesanal desde el amasado inicial de la arcilla hasta que se carga el horno para la quema (Ver figura 49), En este caso el horno tubo una cantidad 4.300 ladrillos por la quema, para un consumo de carbón de 1500kg, generalmente la quema puede durar de 6 a 7 días dependiendo el clima y capacidad del horno, según lo informado estas ladrilleras realizan dos quemas por mes.

Figura 49. Horno circular



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.1.3 Ladrillera el Estanco

Este tipo de horno (Ver figura 50), se caracteriza porque toda su producción de ladrillos es realizada de forma artesanal sin tener condiciones técnicas, como por ejemplo una chimenea que pueda conducir los gases producidos en la quema ambiente. El combustible utilizado es el carbón, a diferencia de las ladrilleras que se dedican a la producción de teja que utilizan el aserrín como combustible. Además el tiempo de quema depende de las condiciones climatológicas y capacidad del horno. Para este caso la adquisición de datos duro 74,61 horas, donde se produjeron un total de 2.200 bloques con un consumo de carbón de 800 Kg.

Figura 50. Horno Cuadrado.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.1.4 Montaje e instalación de equipos en los Hornos

A continuación se mencionan los equipos utilizados para la adquisición de datos y monitoreo de gases de combustión.

5.1.4.1 Termopares utilizados

Para la adquisición de temperaturas en las diferentes partes del horno, se utilizaron termopares de bulbo (De aleación de cromo-aluminio), tipo k con aislamiento cerámico, para mediciones en el interior del horno (ver figura 51), y termopares tipo k con recubrimiento (FIBERGLASS- 900 °F) para tomas en el exterior del horno (ver figura 52).

Figura 51. Termopares de bulbo tipo K.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Figura 52. Termopares tipo k con recubrimiento.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

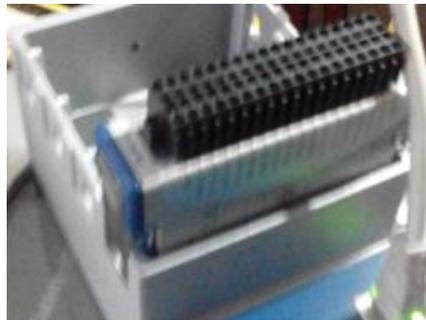
5.1.4.2 Cable de Conexión

Comunica los datos (tomas de temperatura), desde las termocuplas instaladas en los hornos a la tarjeta de adquisición.

5.1.4.3 Tarjeta de adquisición NI 9213 para 16 termopares

Se utilizó en la adquisición de datos para el procesamiento analógico-digital de la información recibida por los termopares instalados, para luego ser almacenadas a través de un software en el reporte de adquisición.³⁶

Figura 53. Tarjeta de adquisición.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

³⁶ NATIONAL INSTRUMENTS.

5.1.4.4 Chasis

Es donde se conecta la tarjeta de adquisición, en este caso cuenta cuatro ranuras, además combina medidas de señal de voltaje, corriente y digital para crear sistemas personalizados de medidas mixtas con una sola interfaz ala PC o laptop.³⁷

Figura 54. Chasis de adquisición.



Fuente: NATIONAL INSTRUMENTS.

5.1.4.5 Pirómetro Óptico

Se utilizara para medir y verificar las temperaturas superficiales de los termopares, además cuenta con rango de medición de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $2200\text{ }^{\circ}\text{C}$,

Figura 55. Pirómetro óptico.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

³⁷Ibid., p. 1.

5.1.4.6 Cámara termografía

También se utilizara la cámara térmica FLIR i3 (Ver figura 56), para registrar el comportamiento térmico del proceso de cocción de los hornos.

Figura 56. Cámara Termográfica.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.1.4.7 Anemómetro

Este equipo será de ayuda para medir la velocidad de los gases de la chimenea del horno Hoffman y mediciones de la temperatura ambiente.

Figura 57. Anemómetro digital.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.1.4.8 Analizador de gases de combustión UEi EAGLE

Este equipo está diseñado para hacer mediciones de combustión (Ver figura 58), incluye pruebas para la medición de CO, CO₂, O₂, NO, presión, Temperatura, Exceso de aire, Relación CO/CO₂ y eficiencia de la combustión. Además el fabricante recomienda su calibración cada año.

Partes del analizador:

- Impresora vía infrarrojo.
- Sonda de combustión y termopares.
- Mangares de presión.
- Cargador.

Figura 58. Analizador de gases de combustión.

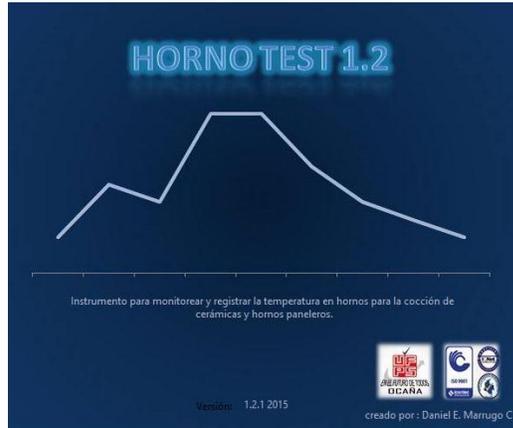


Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.1.4.9 Registro y monitoreo de temperaturas

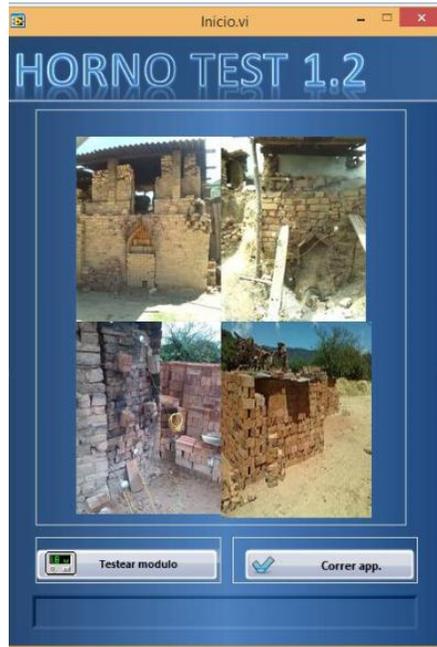
Para el registro de los perfiles de temperatura en cada uno de los hornos fue fundamental la utilización de software Lab VIEW (Ver figura 59-60-61), ya que el programa registro la quema en cada horno almacenando la información de adquisición para luego ser utilizada en el balance térmico.

Figura 59. Software Lab VIEW.



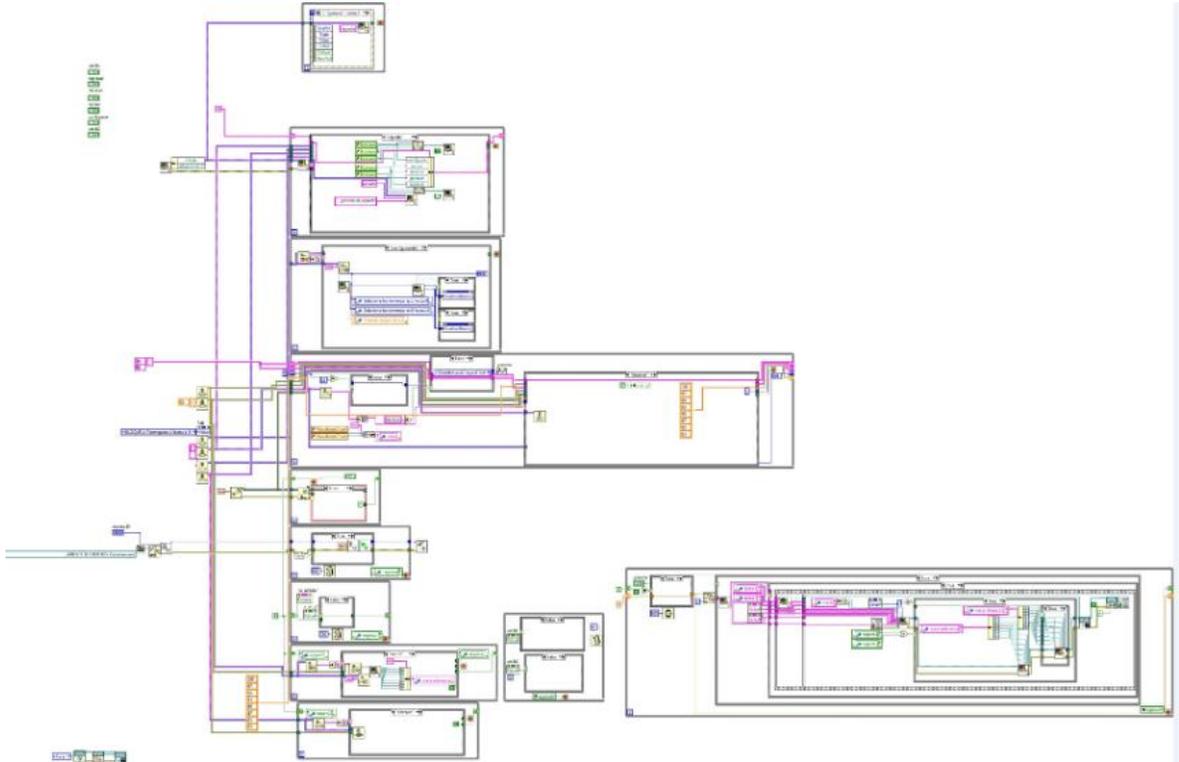
MARRUGO C. Daniel Ernesto. Desarrollo de un instrumento virtual para la generación de perfiles de temperatura en hornos. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Ingeniería Mecánica. 2015.

Figura 60. Pantalla de inicio del Software HORNO TEST 2.1 en Lab VIEW.



MARRUGO C. Daniel Ernesto. Desarrollo de un instrumento virtual para la generación de perfiles de temperatura en hornos. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Ingeniería Mecánica. 2015.

Figura 61. Programación grafica del Software HORNO TEST 2.1



MARRUGO C. Daniel Ernesto. Desarrollo de un instrumento virtual para la generación de perfiles de temperatura en hornos. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Ingeniería Mecánica. 2015.

Una vez instalados todos los equipos de monitoreo de temperatura, se configuro la adquisición, dependiendo el tiempo de monitoreo requerido (Ver figura 62), Luego solo es testear y correr el programa (Ver figura 60), que puede durar 15 minutos. Seguidamente el programa muestra la pantalla de monitoreo que va registrando en tiempo real las temperaturas en los termopares instalados. Cuando los perfiles estén completos, solo ya es detener la adquisición y generar el informe (Ver figura 63), vía EXEL donde mostrara las tablas y las gráficas de los perfiles monitoreados.

Figura 62. Configuración del programa.

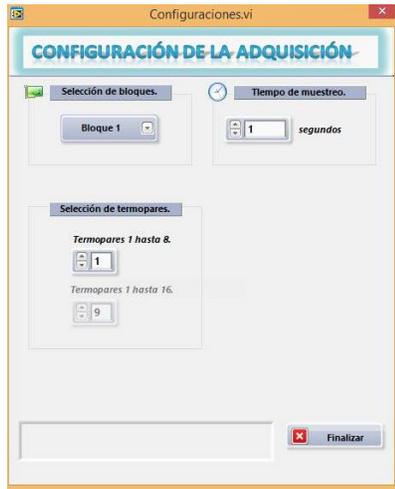
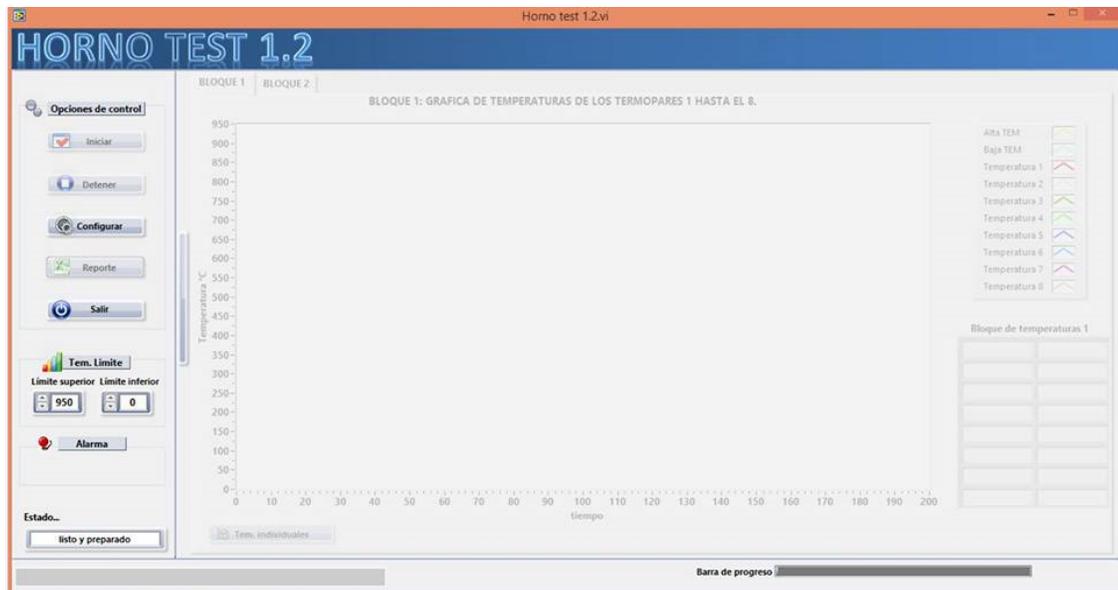


Figura 63. Resultados de la adquisición.



Figura 64. Pantalla de monitoreo del Software Lab VIEW.

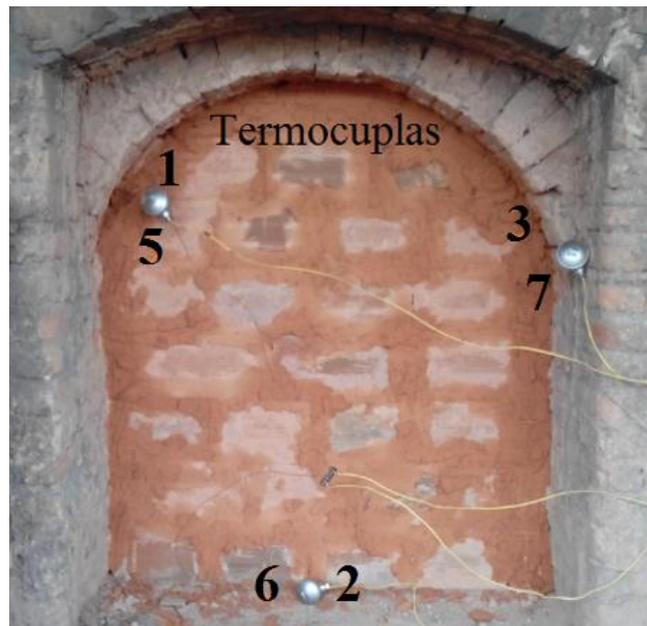


MARRUGO C. Daniel Ernesto. Desarrollo de un instrumento virtual para la generación de perfiles de temperatura en hornos. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Ingeniería Mecánica. 2015.

5.1.4.10 Montaje en el Horno de la ladrillera Ocaña

En la ladrillera Ocaña se ubicaron los equipos de adquisición (Ver figura 67), en un cuarto de monitoreo a 10 m de la cámara seleccionada en el horno, que es la distancia que se tuvo en cuenta para comunicar a través del cable de conexión (Ver figura 68), los dispositivos a la tarjeta de adquisición NI 9213 de capacidad de 16 termopares que va conectada al Chasis NI cDAQ-9184 y a su vez conectada al computador que tiene el software Lab VIEW³⁸ utilizado que genera los perfiles de temperatura. Antes que se cargara la cámara, se ubicaron los 8 termopares (Ver figura 65), en los puntos requeridos al mismo tiempo en que se estaba sellaba la puerta. Donde 1: Temperatura del centro interior, 2: Temperatura del piso interior, 3: Temperatura de la pared interior, 4: Temperatura de la cúpula interior, 5: Temperatura centro exterior, 6: Temperatura del piso exterior, 7: Temperatura de la pared exterior, 8: Temperatura de la cúpula exterior.

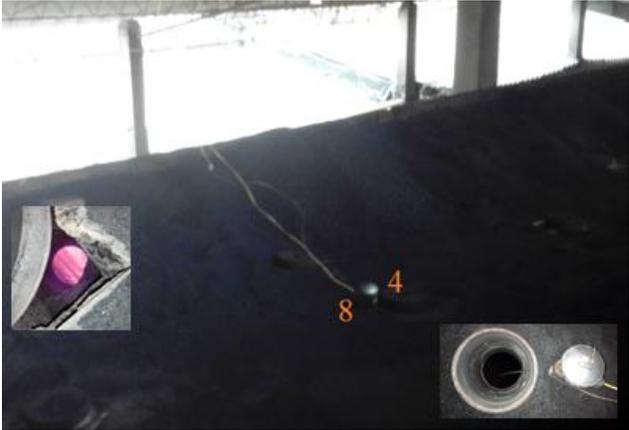
Figura 65. Posición de los termopares en el horno.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

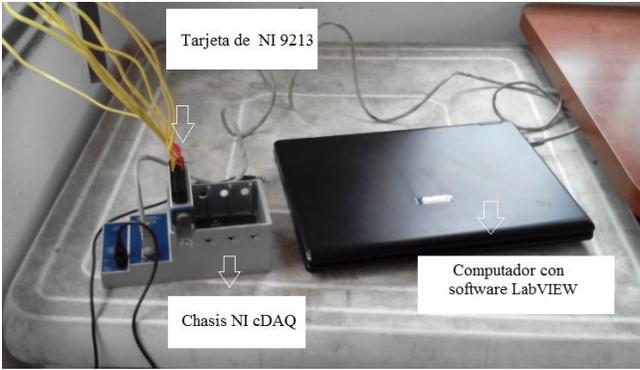
³⁸ MARRUGO C. Daniel Ernesto. Desarrollo de un instrumento virtual para la generación de perfiles de temperatura en hornos. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Ingeniería Mecánica. 2015.

Figura 66. Termopar en la cúpula del horno.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Figura 67. Dispositivos de monitoreo.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015

Figura 68. Ubicación del cable de Conexión.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Figura 69. Conexión del cable a los termopares.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.1.4.11 Montaje en el horno Circular

En el horno el Recreo dos se ubicaron los equipos de adquisición en la casa aledaña a una distancia de 9 m a la puerta Frontal (Ver figura 70-71-72).

Donde 1: Temperatura del centro interior, 2: Temperatura del piso interior, 3: Temperatura de la pared interior, 4: Temperatura de los gases, 5: Temperatura centro exterior, 6: Temperatura del piso exterior, 7: Temperatura de la pared exterior, 8: Temperatura ambiente.

Figura 70. Posición de los termopares en el horno.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Figura 71. Salida de termopar a temperatura ambiente.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Figura 72. Cable de Conexión.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.1.4.12 Montaje en el horno cuadrado

En el horno el Estanco se ubicaron los equipos de adquisición a una distancia de 6 m a la puerta Frontal.

Donde 1: Temperatura del centro interior, 2: Temperatura del piso interior, 3: Temperatura de la pared interior, 4: Temperatura de los gases, 5: Temperatura centro exterior, 6: Temperatura del piso exterior, 7: Temperatura de la pared exterior, 8: Temperatura ambiente.

Figura 73. Posición de los termopares en el horno.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Figura 74. Dispositivos de monitoreo.

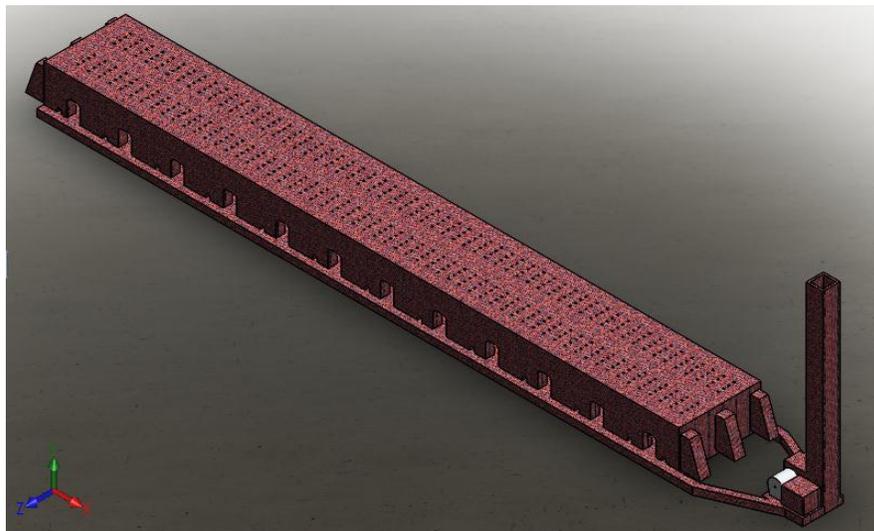


Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.2 EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA EN EL HORNO HOFFMAN³⁹

El balance energético en el horno Hoffman en la vía a la vereda la Rinconada, consiste en determinar si la energía suministrada al proceso de cocción es igual a la que sale del horno. El proceso de producción es tecnificado desde la entrada de la materia prima hasta la salida del ladrillo de las cámaras del horno, la ladrillera esta principalmente dedicada a la producción de ladrillos H-10*30 seguida del H-10*40. La quema es realizada a través de carbón mineral, donde cada ladrillo tiene un consumo promedio de 0.288 Kg, además el horno continuo posee una capacidad total de 114 apiles, distribuidos entre las recamaras de 660 bloques por apile.

Figura 75. Horno Hoffman.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

A continuación, se presentan las expresiones que permitan determinar el calor que se pierde en las etapas del proceso de cocción.

$$Q_T = Q_o + Q_{cm} + Q_{wm} + Q_{dq} + Q_{wc} + Q_{ac} + Q_{wa} + Q_i + Q_p + Q_h \quad \text{Ecuación 1.}$$

Q_T : Cantidad de calor total

Q_o : Acumulación de calor en mampostería

Q_{cm} : Calor por carga del material a coser

Q_{wm} : Calor para sacar la humedad del material

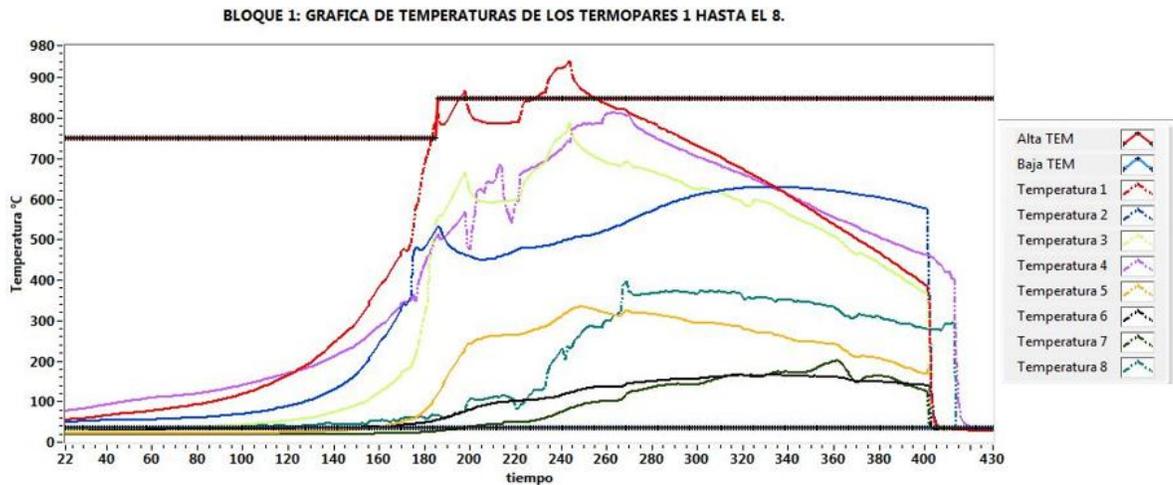
Q_{dq} : Calor necesario para la descomposición química de arcilla

Q_{wc} : Calor por humedad de carbón

³⁹ MENESES, Calderón. JOSÉ Agustín. Evaluación de las Perdidas de Energía en los Hornos tipo Colmena de Tiro Invertido. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingeniería. Plan de estudios de Ingeniería Mecánica San José de Cúcuta. 2003.

Q_{ac} : Calor por agua formada en la combustión
 Q_{wa} : Calor por humedad de aire
 Q_i : Calor por inquemados
 Q_p : Calor por pared
 Q_c : Calor acumulado en la cúpula
 Q_h : Calor por humos

Figura 76. Perfil de temperatura en el Horno Hoffman.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.2.1 Calor de entrada (QH)

Este es el calor liberado por la combustión del carbón en el proceso de cocción del material, el cual es igual al poder calorífico del combustible multiplicado por toda la cantidad de carbón consumida para la cocción del ladrillo.

$$Q_H = P_c * m_c \quad \text{Ecuación 2.}$$

m_c : Masa total de carbón consumida (Kg)

P_c : Poder calorífico (KJ/kg)⁴⁰

C_b : Consumo de carbón por ladrillos (0,288 Kg)

Cantidad de apiles analizar (44 apiles)

m_{cp} : masa consumida por precalentamiento del ladrillo (Kg)

m_{cl} : masa consumida por quema del ladrillo (Kg)

⁴⁰ VEGA, Mohalem, Anderson & YOLIAN Cortes Díaz. Aprovechamiento de los gases generados por el horno Hoffman para mejorar la zona de secado en la ladrillera Ocaña. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Ingeniería mecánica. Ocaña. 2014

Se tomara además del carbón por quema de los 44 apiles en el estudio, un 44% del carbón por precalentamiento de cuatro cámaras anteriores a la sección de estudio, ya que como el horno Hoffman es de quema continua, parte del calor entre cámaras es aprovechado por la otra para precalentamiento del producto.

$$m_{cp} = (4 * 6 * 660 * 0,288) * 0,44 = 2007,24 \text{ Kg}$$

Luego el carbón utilizado por la quema de los 44 apiles de la sección analizar:

$$m_{cl} = (44 * 660 * 0,288) + 2007,24 = 10370,76$$

Remplazando en la ecuación 2 obtenemos:

$$Q_H = 41947,37 * 10370,76$$

$$Q_H = 435,026 * 10^6 \text{ kJ}$$

5.2.2 Acumulación de calor en mampostería (Q_o)

Es el calor que se presenta en el interior del horno, el cual se comunica principalmente con sus paredes. Haciendo menor la influencia de este calor, se ayuda a disminuir el consumo de carbón.

$$Q_o = V_o * \gamma_o * C_o * T_m \quad \text{Ecuación 3.}$$

V_o : Volumen del horno (m^3)

γ_o : Peso específico del ladrillo del horno ($1450 \text{ kg}/m^3$)⁴¹

C_o : Calor específico del ladrillo del horno ($0,79 \text{ kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$)⁴²

T_m : Temperatura media en los puntos de medición ($^{\circ}\text{C}$)

$$Q_o = \gamma_o C_o \left\{ (V_p * (T_{mp} - T_0)) + (V_{pi} * (T_{mpi} - T_0)) + (V_c * (T_{mc} - T_0)) \right\} \quad \text{Ecuación 4.}$$

T_{mp} : Temperatura media de la pared ($^{\circ}\text{C}$)

T_{mpi} : Temperatura media del piso ($^{\circ}\text{C}$)

T_{mc} : Temperatura media de la Cúpula ($^{\circ}\text{C}$)

T_0 : Temperatura inicial ($^{\circ}\text{C}$)

V_{pi} : Volumen del piso (m^3)

V_p : Volumen de la pared (m^3)

V_c : Volumen de la cúpula (m^3)

⁴¹ MENESES, Calderón. JOSÉ Agustín. Evaluación de las Perdidas de Energía en los Hornos tipo Colmena de Tiro Invertido. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingeniería. Plan de estudios de Ingeniería Mecánica San José de Cúcuta. 2003.

⁴² CENGEL, Yunus A. Termodinámica. 6 ed. México: Mc Graw-Hill, 2009. 909 p.

Para la evaluación termodinámica se tomarán las temperaturas máximas durante la prueba, para tener un dato más confiable a los mencionados por otros autores.

$$T_m = \frac{T_i + T_e}{2} \quad \text{Ecuación 5.}$$

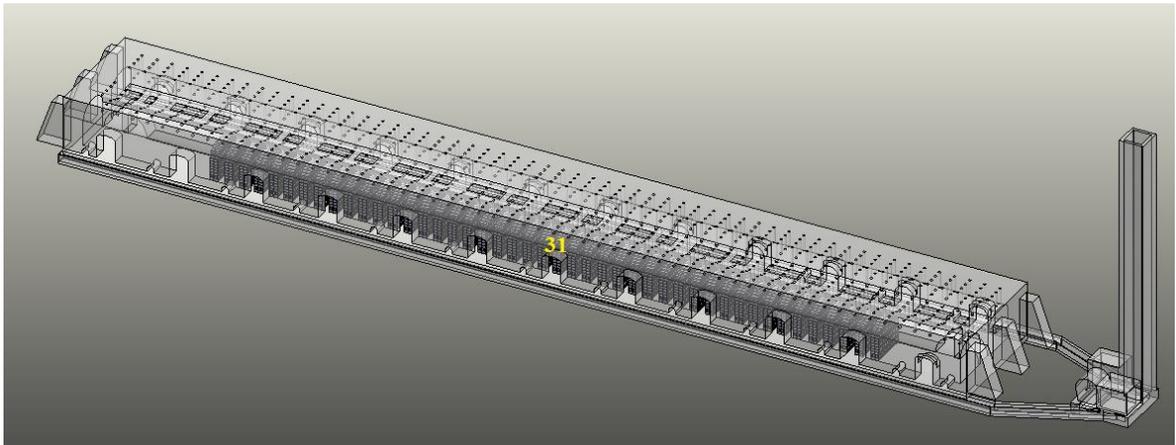
Tabla 8. Temperatura media de los puntos de medición.

PUNTO DE MEDICIÓN	Temp. Inte. °C	Temp. Ext. °C	Temp. Media (K)
<i>Tmp</i> : Temperatura media de la pared	788,25	202,14	768,19
<i>Tmpi</i> : Temperatura media del piso	629,39	165,35	670,37
<i>Tmc</i> : Temperatura media Cúpula	814,14	398,62	879,38
<i>Tmi</i> : Temperatura media interior (°K)	941,63	334,22	910,92
<i>T₀</i> : Temperatura inicial (Materiales)	62°C		335

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

A continuación se presenta la sección donde se hizo la adquisición de temperaturas en el horno Hoffman, se cuenta con un total de 44 apiles para el estudio y donde en el apile 31 se instalaron los termopares. En total el horno tiene una capacidad de 114 apiles y 464 agujero para la inyección de carbón. (Ver figura 77 y 78).

Figura 77. Horno Hoffman.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

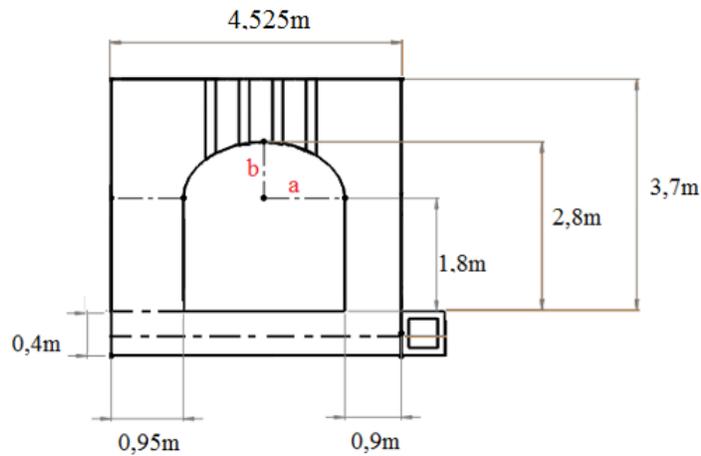
Figura 78. Vista superior del Horno Hoffman.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Al volumen de la pared, se le resta los volúmenes de las puertas frontales y de humos (Ver figura 81).

Figura 79. Sección transversal de estudio del Horno Hoffman.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

El volumen por pared será (ver figura 80 y 81):

$$V_p = \{(l * h * t_{pe}) + (l * h * t_{pi})\} - (V_{pu} + V_h) \text{ Ecuación 6.}$$

l : largo de la sección (44,1 m)

h : Altura de la pared (1,8 m)

t_{pi} : Espesor de la pared interior (0,95 m)

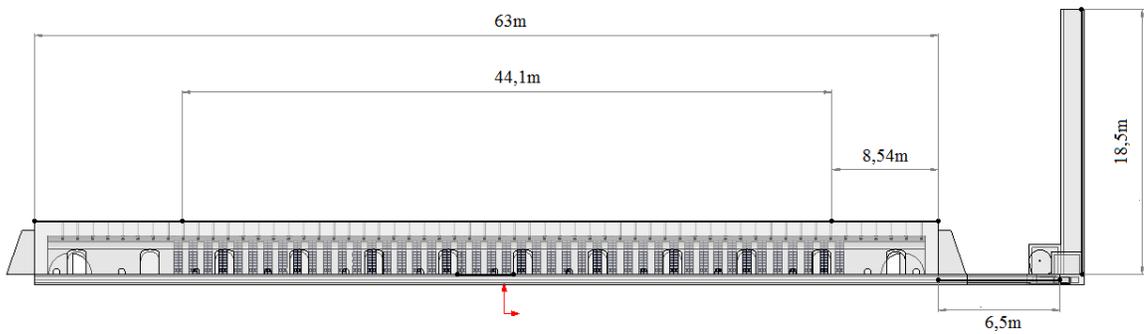
t_{pe} : Espesor de la pared exterior (0,9 m)

V_{pu} : Volumen por puertas (9 puertas)

Ancho de la puerta ($1,3m$)
 Alto de la puerta ($1,5m$)
 Radio superior de la puerta ($0,65m$)
 V_h : Volumen por puertas de humos (9 puertas)
 Ancho de la puerta de humos ($0,46m$)
 Alto de la puerta de humos ($0,2m$)
 Radio superior de la puerta de humos ($0,23m$)

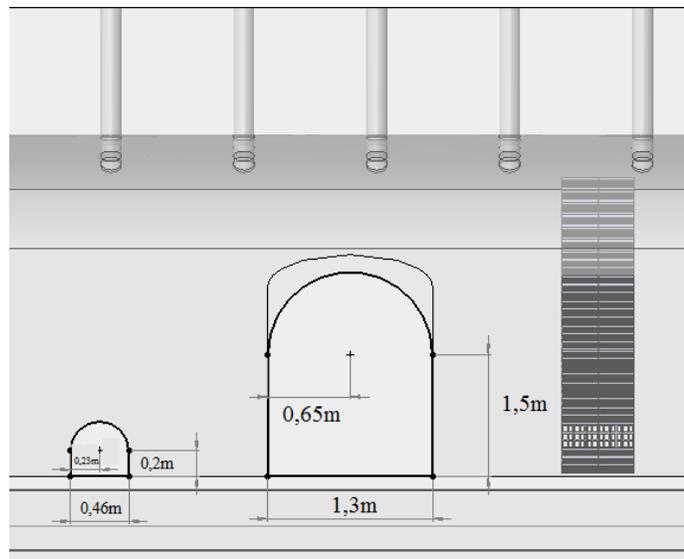
La sección de estudio tiene una longitud total de $44,1m$ (ver figura 80) y $4,525m$ de ancho, y $4,1m$ de alto (ver figura 79).

Figura 80. Vista lateral del Horno Hoffman.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Figura 81. Sección de la vista lateral del Horno Hoffman.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

El volumen por pared será:

$$V_p = \{(44,1 * 1,8 * 0,9) + (44,1 * 1,8 * 0,95)\} - (9(2,3522) + 9(0,1576))$$

$$V_p = 124,26 m^3$$

El volumen del piso será:

Tpi: Espesor del piso (0,4m)

Ae: Ancho exterior (4,525m)

VTlh: Volumen del túnel de limpieza y humos

Ancho, alto del túnel de limpieza y humos (0,9-0,85m)

Espesor de túnel (0,12m)

Longitud del túnel de limpieza y humos (59,88m)

$$V_{pi} = (l * Ae * tpi) + VTlh \quad \text{Ecuación 7.}$$

$$V_{pi} = (59,88 * 4,525 * 0,4) + ((59,88 * 0,9 * 0,85) - (59,88 * 0,66 * 0,61))$$

$$V_p = 101,52 m^3$$

El volumen de la cúpula será, donde al volumen superior total se le resta el volumen de la elipse y Tubería (Ver figura 79):

$$V_c = V_s - (V_{oc} + V_{tu}) \quad \text{Ecuación 8.}$$

Vs: Volumen superior de la sección.

Voc: volumen libre de la elipse

Vtu: Volumen de la tubería de alimentación

Altura de la Cúpula b (1m) (Elipse)

Altura de la sección superior (1,9 m)

Sección a (Elipse) (1,4m)

Dt: diámetro del tubo (0,165m)

Total de tubos (168)

Longitud promedio de la tubería (1,21m)

Remplazando:

$$V_c = (1,9 * 44,1 * 4,525) - \left\{ \left(\frac{\pi * 1,4 * 1}{2} \right) + (168 * (\pi * 0,165^2 * 1,21)) \right\}$$

$$V_c = 264,78 m^3$$

Reemplazando en la ecuación 4, la acumulación de calor será:

$$Q_o = 1450 * 0.79 \{ (124,26 * (768,19 - 335)) + (101,52 * (670,37 - 335)) + (264,78 * (879,38 - 335)) \}$$

$$Q_o = 265,78 * 10^6 \text{ kJ}$$

5.2.3 Calor por carga del material a coser (Qcm)

Es el calor necesario para la cocción del material de carga.

$$Q_{cm} = m_{se} * C_{om} * (T_{max} - T_{mi}) \quad \text{Ecuación 9.}$$

m_{se} : Masa seca de la carga (kg)

C_{om} : Calor específico del material (kJ/kg-K)

T_{max} : Temperatura de salida de los materiales (941,63 °C)

T_{mi} : Temperatura de entrada de los materiales (62 °C)

m_t : Masa total de carga (kg) (Ver tabla 10.)

y_m : Humedad del material (3%)⁴³

$$m_{se} = (1 - y_m) m_t \quad \text{Ecuación 10.}$$

En el cuadro siguiente se ilustrará los pesos promedios de cada uno de los productos al momento de ingresar y salir del horno. (Ver tabla 9).

Tabla 9. Peso promedio de cada uno de los productos.

Ítem	Tipo del material	Cantidad	Peso promedio (kg) con y_m	Peso total (kg)	Peso cocido (kg)	% pérdida	Peso total cocido
1	Ladrillo H-10x30	27060	5,34	144500,4	5,03	6,16	136111,8
2	Ladrillo H-10x40	1980	5,21	10315,8	4,98	4,61	9860,4
		13200	Peso total de carga	154816,2	Humedad química: 0,03		145972,2

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

$$m_{se} = (1 - 0,03) * 154816,2$$

$$m_{se} = 150171,71 \text{ kg}$$

⁴³ Ladrillera Ocaña.

Reemplazando en la ecuación 9, el calor será:

$$Q_{cm} = 150171,71 * 0.79 * (941,63 - 62)$$

$$Q_{cm} = 104,35 * 10^6 \text{ kJ}$$

5.2.4 Calor para sacar la humedad del material (Q_{wm})

Es el calor que se necesita para evaporar la cantidad de agua en el proceso de cocción del material.

$$Q_{wm} = m_t y_m (h_g - u_m) \quad \text{Ecuación 11.}$$

h_g : Entalpía de los gases (kJ/kg)⁴⁴

u_m : Energía interna del material (kJ/kg)⁴⁵

Como el agua se evapora a los 100 °C, se tomará la entalpía de los gases y la energía interna del material a 20°C.

$$Q_{wm} = 154816,2 * 0.03(2675,6 - 83,913)$$

$$Q_{wm} = 12,03 * 10^6 \text{ kJ}$$

5.2.5 Calor necesario para la descomposición química de la arcilla (Q_{dq})⁴⁶

Es el calor considerado para la descomposición química de los carbonatos (CaCO₃) y la evaporación del agua combinada presentes en la arcilla. Se da por:

$$Q_{dq} = m_{se} * (C_{dqCaC\bar{o}3} + C_{dqagua}) \quad \text{Ecuación 12.}$$

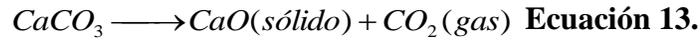
Se considera una pérdida de peso de los productos durante el proceso de cocción y descontando la humedad con la que entra al horno (3%), queda una pérdida de peso promedio del 3% (ver tabla 9), que se considera el peso perdido por la descomposición del CaCO₃ y por la evaporación del agua combinada.

⁴⁴ CENGEL, Yunus A. Termodinámica. 6 ed. México: Mc Graw-Hill, 2009. 910 p.

⁴⁵ Ibid., p. 910.

⁴⁶ VERA Duarte, Luis Emilio. Evaluación de las pérdidas de energía en los hornos tipo colmena de tiro invertido en la ladrillera Cúcuta. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingeniería. 2003.

El CaCO_3 se descompone en:



Esta descomposición se produce sobre la zona de cocción a entre 600 y 800 °C, el calor de reacción es de 607.2 kJ/kg de CO_2 producido, tomada a 600 °C⁴⁷. La cantidad de carbonatos en las arcillas de la zona es de trazas, por lo tanto este CO_2 producido es despreciable, lo que indica que la pérdida de peso del material se debe al agua combinada este es de 3 %, y la energía necesaria para este proceso es de (3705,0 – 83,95) kJ/kg agua, tomada a 600 °C⁴⁸

$$Q_{dq} = 150171,71 * 0,03(3705 - 83,95)$$

$$Q_{dq} = 16,63 * 10^6 \text{ kJ}$$

5.2.6 Calor por humedad del carbón (Q_{wc})

El agua contenida en el carbón, será calentada a la temperatura de ebullición de 100°C, Luego se evapora y finalmente se recalientan a la temperatura de los gases de escape, siendo esta en función de la entalpía.

$$Q_{wc} = m_c y_c (h_g - u_c) \quad \text{Ecuación 14.}$$

m_c : Masa del carbón total (kg)

y_c : Humedad del carbón (%)⁴⁹

u_c : Energía interna del carbón (kJ/kg) a 20 °C

h_g : Entalpía del vapor de agua a la temperatura de los gases de la chimenea (kJ/kg)⁵⁰

Se realizó un cálculo de ejemplo, ya que el calor total será la sumatoria de todos los calores (Ver en la tabla 10).

$$Q_{wc} = 10370,76 * 0,01756 * (2600,1 - 83,913)$$

$$Q_{wc} = 458,22 * 10^3 \text{ kJ}$$

⁴⁸ British Estándar Test Code, Normas para el cálculo del balance térmico en hornos de ladrillo.

⁴⁹ Ibid., p. 16.

⁵⁰ CENGEL, Yunus A. & BOLES, Michael A. Termodinámica, 6 ed. México: Mc Graw-Hill. 2009. p. 910.

Tabla 10. Calor por la humedad del carbón.

Calor por humedad de carbón					
Humedad del carbón		0.0175	%	Entalpía del vapor	Qwc
Energía inter. del agua		83,913	<i>kJ / kg</i>		
Hora de toma	N° de horas	Peso total (kg)	T ₉ Temp. Gases (°C)	(KJ/Kg)	(KJ)
04:42:08 p.m.	0	537,33	55	2600,1	458224,399
05:42:08 p.m.	01:00	537,33	57,4	2604,22	458974,695
06:42:08 p.m.	01:00	537,33	59	2607,06	459491,889
07:42:08 p.m.	01:00	537,33	60	2608,8	459808,762
08:42:08 p.m.	01:00	537,33	61,7	2611,758	460347,445
09:42:08 p.m.	01:00	537,33	62,1	2612,45	460473,466
10:42:08 p.m.	01:00	537,33	64,3	2616,282	461171,314
11:42:09 p.m.	01:00	537,33	69	2626,3	462995,698
12:42:09 a.m.	01:00	537,33	73,3	2631,71	463980,916
01:42:09 a.m.	01:00	537,33	71	2627,78	463265,222
02:42:09 a.m.	01:00	537,33	70	2626,1	462959,276
03:42:09 a.m.	01:00	537,33	70,6	2627,1	463141,386
04:42:09 a.m.	01:00	370,06	71,3	2628,31	463361,74
05:42:09 a.m.	01:00	370,06	73,2	2631,47	463937,21
06:42:09 a.m.	01:00	370,06	75,6	2635,608	464690,784
07:42:09 a.m.	01:00	370,06	58,7	2606,51	459391,729
08:42:09 a.m.	01:00	370,06	93,5	2665,2	470079,801
09:42:09 a.m.	01:00	370,06	93,4	2665,04	470050,664
10:42:09 a.m.	01:00	370,06	95	2667,6	470516,867
11:42:10 a.m.	01:00	370,06	97,6	2671,76	471274,447
12:42:10 p.m.	01:00	370,06	100,4	2676,224	472087,389
01:42:10 p.m.	01:00	370,06	117,6	2702,44	476861,601
02:42:10 p.m.	01:00	370,06	127,8	2717,02	479516,774
03:18:50 p.m.	00:38	222,04	130	2720,1	480077,675
Total	22,6				11.176.681,15

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.2.7 Calor por agua formada en la combustión (Q_{ac})

Es el calor que absorbe el agua que se forma en la combustión del hidrogeno, para efectos de calentarse, evaporarse y sobrecalentar hasta la temperatura a la cual son expulsados los humos.

$$Q_{ac} = m_{cu} * m_{ac} (h_g - u_a) \quad \text{Ecuación 15.}$$

m_{ac} : Masa del agua formada en la combustión ($kg H_2O/kg Comb$)

m_{cu} : Masa del carbón en el transcurso del tiempo (kg)

h_g : Entalpía del agua de vapor (kJ/kg)

u_a : Energía interna del agua (kJ/kg), a temperatura de $20\text{ }^\circ C$

La cantidad de carbón distribuida en las cámaras será de 370 Kg por cada hora transcurrida y de 573,33 Kg distribuidos en las primeras 12 horas del estudio.

Tabla 11. Composición química del carbón.

Composición	Porcentajes (%)
C	78.40
H ₂	4.20
O ₂	6.20
N ₂	1.70
S	1.20
Cenizas	5.40
H ₂ O	2.9
Total	100

Fuente: Ladrillera Cúcuta.2003.

La masa del agua formada en la combustión será:

$$m_{ac} = 9 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \quad \text{Ecuación 16.}$$

Reemplazando,

$$m_{ac} = 9 \left(0.042 - \frac{0.062}{8} \right)$$

$$m_{ac} = 0.30825 \frac{kgH_2O}{kgComb}$$

Reemplazando en la ecuación 15, se tendrá el cálculo para el primer calor de la tabla 12.

$$Q_{ac} = 537,33 * 0.30825(2619,34 - 83.913)$$

$$Q_{ac} = 416,76 * 10^3 kJ$$

A continuación se presenta el calor total por agua en la combustión variando la entalpía de vapor y el peso del carbón. (Ver tabla 12).

Tabla 12. Calor por agua formada en la combustión.

Calor por Agua formada en la combustión					
Masa agua combustión		0,30825	kg H ₂ O/kg Comb	Entalpía del vapor	Qac
Energía inter. del agua		83,913	<i>kJ / kg</i>		
Hora de toma	N° de horas	Peso total (kg)	T ₉ Temp. Gases (°C)	(KJ/Kg)	(KJ)
04:42:08 p.m.	0	537,33	55	2600,1	416766,955
05:42:08 p.m.	01:00	537,33	57,4	2604,22	417449,368
06:42:08 p.m.	01:00	537,33	59	2607,06	417919,77
07:42:08 p.m.	01:00	537,33	60	2608,8	418207,973
08:42:08 p.m.	01:00	537,33	61,7	2611,758	418697,92
09:42:08 p.m.	01:00	537,33	62,1	2612,45	418812,539
10:42:08 p.m.	01:00	537,33	64,3	2616,282	419447,249
11:42:09 p.m.	01:00	537,33	69	2626,3	421106,574
12:42:09 a.m.	01:00	537,33	73,3	2631,71	422002,656
01:42:09 a.m.	01:00	537,33	71	2627,78	421351,713
02:42:09 a.m.	01:00	537,33	70	2626,1	421073,447
03:42:09 a.m.	01:00	537,33	70,6	2627,1	421239,082
04:42:09 a.m.	01:00	370,06	71,3	2628,31	421439,499
05:42:09 a.m.	01:00	370,06	73,2	2631,47	290608,06
06:42:09 a.m.	01:00	370,06	75,6	2635,608	291080,095
07:42:09 a.m.	01:00	370,06	58,7	2606,51	287760,792
08:42:09 a.m.	01:00	370,06	93,5	2665,2	294455,75
09:42:09 a.m.	01:00	370,06	93,4	2665,04	294437,499
10:42:09 a.m.	01:00	370,06	95	2667,6	294729,526
11:42:10 a.m.	01:00	370,06	97,6	2671,76	295204,071
12:42:10 p.m.	01:00	370,06	100,4	2676,224	295713,294
01:42:10 p.m.	01:00	370,06	117,6	2702,44	298703,838
02:42:10 p.m.	01:00	370,06	127,8	2717,02	300367,025
03:18:50 p.m.	00:38	222,04	130	2720,1	180431,023
Total	22,6				8.579.005,72

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.2.8 Calor por humedad de aire (Qwa)

El aire presenta una humedad natural que depende de las condiciones climatológicas del medio, produciendo una pérdida de la energía cuando se realiza la combustión.

$$Q_{wa} = m_{wa} * m_{as} (h_{ga} - h_{wa}) m_{cu} \quad \text{Ecuación 17.}$$

m_{as} : Masa de aire seco (kg Aire/kg Comb)

m_{wa} : Masa de humedad del aire (kg H₂O/kg Aire)

m_{cu} : Masa de carbón durante la cocción (Kg/h)

h_{ga} : Entalpía del vapor de aire (kJ/kg)

h_{wa} : Entalpía de la humedad del aire (kJ/kg Aire)

ϕ : Humedad relativa (%)⁵¹

T_{bs} : Temperatura de bulbo seco (27,3 °C)⁵²

Tiempo de quema: 22,6 horas

Así la humedad relativa y temperatura dependen de la época del año, entonces será (ANEXO B).

$$\begin{array}{l} \phi: 75,3\% \\ \\ T_{bs}: 27,3 \text{ } ^\circ\text{C} \end{array} \quad \rightarrow \quad \begin{array}{l} m_{wa} = 0,0173 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{kgAireseco}} \\ \\ h_{wa} = 71 \frac{\text{kJ}}{\text{kgAireseco}} \end{array}$$

La masa de aire seco será:

* V_{sd} : Rata de flujo estándar de aire seco

V_{sd} : Volumen de los humos estándar

* $V_{sd} = 5629 \text{ cfm}$ (Pies cúbicos por minuto) A condiciones normales.⁵³

$$* V_{sd} = 9563,76 \frac{\text{m}^3 \text{N}}{\text{h}}$$

⁵¹ NASA. Surface meteorology and Solar Energy. [En línea]. Disponible en: < <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=8.14&lon=73.21&submit=Submit> > [Citado el 24 Mayo de 2015]

⁵² Ibid., p. 1.

⁵³ Ladrillera Cúcuta.

Remplazando:

$$V_{sd} = \frac{9563,76 \frac{m^3 N}{h}}{10370,76 / 22,6h}$$

$$V_{sd} = 20,84 \frac{m^3 N}{kg Comb}$$

Trabajando por el diagrama de Oswald (ver tabla 13). Y trabajando con Composición química del carbón. (Ver Tabla 11.)

σ : Número de Molliere ($kmol/kmol C$)

ν : Número del nitrógeno ($kmol N_2 / kmol C$)

ξ : Número del azufre ($kmol SO_2 / kmol C$)

k : Volumen de CO_2 en humos ($kmol CO_2 / kmol Comb$)

O_{ov} : Oxígeno teórico en volumen ($m^3 NO / kg Comb$)

ρ : Moles de agua ($kmol H_2O / kmol Comb$)

$V_g A_o$: Volumen de humos de aire teórico

$V_g A_r$: Volumen de humos de aire real

λ : Factor de aire

M_{om} : Masa de aire teórico ($kg Humos / kg Comb$)

M_{rm} : Masa de aire real ($kg Humos / kg Comb$)

$$\sigma = 1 + \frac{3}{C} \left(H - \frac{O - S}{8} \right) \quad \text{Ecuación 18.}$$

$$\sigma = 1 + \frac{3}{0,784} \left(0,042 - \frac{0,062 - 0,12}{8} \right)$$

$$\sigma = 1,137 \frac{kmol O_2}{kmol C}$$

$$\nu = \frac{3N}{7C} \quad \text{Ecuación 19.}$$

$$\nu = \frac{3 * 0,017}{7 * 0,784} \quad \nu = 0,009 \frac{kmol N_2}{kmol C}$$

$$\xi = \frac{3S}{8C} \quad \text{Ecuación 20.}$$

$$\xi = \frac{3 * 0,012}{8 * 0,784} \quad \xi = 0,006 \frac{kmolS}{kmolC}$$

$$k = \frac{22,4C}{12} \quad \text{Ecuación 21.}$$

$$k = \frac{22,4 * 0,784}{12} \quad k = 1,46 \frac{m^3 N.CO_2}{kgComb}$$

$$O_{ov} = \sigma * k \quad \text{Ecuación 22.}$$

$$O_{ov} = 1,137 * 1,46 \quad O_{ov} = 1,66 \frac{m^3 N.O}{kgComb}$$

$$\rho = \frac{2(9H + W)}{3C} \quad \text{Ecuación 23.}$$

$$\rho = \frac{(2(9 * 0,042 + 0,029))}{3 * 0,784} \quad \rho = 0,346 \frac{kmolH_2O}{kgComb}$$

$$V_g A_o = k(1 + \nu + \xi + \rho + \sigma(4,76\lambda - 1)) \quad \text{Ecuación 24.}$$

$$V_g A_r = V_g A_o + \left(\frac{O_{ov}}{0,21} \lambda - 1 \right) \quad \text{Ecuación 25.}$$

Se va asumiendo hasta λ en la ecuación 24 y 25, hasta que el volumen de los gases de aire teórico se aproximadamente igual al volumen de humos estándar. (Ver tabla 13).

Tabla 13. Factor de aire.

Mollier	v	ξ	K	Oov	ρ	λ	VgAo	VgAr
1,13	0,009	0,006	1,46	1,66	0,346	1,27	10,38	19,44
						1,35	11,01	20,71

Fuente: Jacome, Sergio.2015.

Luego tendremos:

$$M_{om} = \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S-O}{32} \right) \frac{32}{0,23} \quad \text{Ecuación 26.}$$

$$M_{om} = 10,333 \frac{kgHumos}{kgComb}$$

$$M_{rm} = \lambda * M_{om} \quad \text{Ecuación 27.}$$

$$M_{rm} = 1,35 * 10,333$$

$$M_{rm} = 13,95 \frac{KgHumos}{KgComb.}$$

Remplazando (ver la tabla 14), tenemos para la primera temperatura:

$$Q_{wa} = 0,0173 * 13,95 * (2600,1 - 71) * 537,33$$

$$Q_{wa} = 327,96 * 10^3 kJ$$

Tabla 14. Calor por la humedad el aire.

Calor por la humedad el aire					
Masa de aire seco		13,95	Kg humo/kg Comb	Entalpía del vapor	Qwa
Entalpía de la húmeda del aire		83,913	<i>kJ / kg</i>		
Hora de toma	N° de horas	Peso total (kg)	T ₉ Temp. Gases (°C)	(KJ/Kg)	(KJ)
04:42:08 p.m.	0	537,33	55	2600,1	327969,599
05:42:08 p.m.	01:00	537,33	57,4	2604,22	328503,874
06:42:08 p.m.	01:00	537,33	59	2607,06	328872,161
07:42:08 p.m.	01:00	537,33	60	2608,8	329097,801
08:42:08 p.m.	01:00	537,33	61,7	2611,758	329481,39
09:42:08 p.m.	01:00	537,33	62,1	2612,45	329571,127
10:42:08 p.m.	01:00	537,33	64,3	2616,282	330068,055
11:42:09 p.m.	01:00	537,33	69	2626,3	331367,173
12:42:09 a.m.	01:00	537,33	73,3	2631,71	332068,733
01:42:09 a.m.	01:00	537,33	71	2627,78	331559,097
02:42:09 a.m.	01:00	537,33	70	2626,1	331341,237
03:42:09 a.m.	01:00	537,33	70,6	2627,1	331470,916
04:42:09 a.m.	01:00	370,06	71,3	2628,31	331627,827
05:42:09 a.m.	01:00	370,06	73,2	2631,47	228676,04
06:42:09 a.m.	01:00	370,06	75,6	2635,608	229045,606
07:42:09 a.m.	01:00	370,06	58,7	2606,51	226446,858
08:42:09 a.m.	01:00	370,06	93,5	2665,2	231688,473
09:42:09 a.m.	01:00	370,06	93,4	2665,04	231674,183
10:42:09 a.m.	01:00	370,06	95	2667,6	231902,817
11:42:10 a.m.	01:00	370,06	97,6	2671,76	232274,347
12:42:10 p.m.	01:00	370,06	100,4	2676,224	232673,028
01:42:10 p.m.	01:00	370,06	117,6	2702,44	235014,384
02:42:10 p.m.	01:00	370,06	127,8	2717,02	236316,526
03:18:50 p.m.	00:38	222,04	130	2720,1	141954,961
Total	22,6				6.750.666,21

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.2.9 Calor por inquemados (Q_i)⁵⁴

Es la cantidad de carbón que queda en forma de cenizas, lo cual puede suceder por la variación del tamaño del carbón o por mala distribución en la hornilla, lo que puede ocasionar una mala combustión.

$$Q_i = m_c * c_e * P_f * P_{cq} \quad \text{Ecuación 28.}$$

c_e : Cenizas residuales (%)

P_{cq} : Poder calorífico del carbón como quemado (kJ/kg).⁵⁵

P_f : Pérdida al fuego (%)⁵⁶

m_c : masa total de carbón

Reemplazando se tiene:

$$Q_i = 10370,76 * 0,054 * 0,158 * 29205,6$$

$$Q_i = 2,58 * 10^6 \text{ kJ}$$

5.2.10 Calor por pared (Q_p)

La pérdida de calor por pared se da debido a que hay una diferencia de temperatura entre la pared y un medio circundante. Para lo cual la pared tiene una conductividad térmica de 0,8 W/m-K.⁵⁷

Flujo de calor a través de una pared está dado por:

R : Resistencia al flujo de calor del material (ladrillo).

K : conductividad térmica para (ladrillo común).

A : Área de la sección travesar al flujo de calor.

L : Distancia entre superficie fría y caliente.

t : Intervalo de tiempo

⁵⁴ VERA Duarte, Luis Emilio. Evaluación de las pérdidas de energía en los hornos tipo colmena de tiro invertido en la ladrillera Cúcuta. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingeniería. 2003.

⁵⁵ SERRANO TRILLOS, Carlos. Estudio teórico práctico del proceso de combustión de los hornos de tiro invertido para el Chircal San Luis de Cúcuta. Cúcuta. 1980. 120 p. Trabajo de grado. (Ingeniero Mecánico). Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingenierías. Área de Térmicas.

⁵⁶ Ibid., p. 159.

⁵⁷ MILIARIUM. Propiedades térmicas de materiales. [En línea]. (2013). Disponible en: <<http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>> [Citado el 10 de Mayo de 2015]

$$R = \frac{L}{K * A} \quad Q_p = \frac{\Delta T}{R} * t \quad ^{58} \text{ Ecuación 29.}$$

A continuación se realizará un ejemplo del cálculo de calor por la pared y se procede a tabular para encontrar el calor total (ver tabla 15.).

Donde, se utilizan las mismas medidas del calor en mampostería:

Ape: Área de la pared.

Api: Área de la pared.

Apu: Área por puertas ($23,52m^2$)

Aph: Área por puesta de humos ($1,57m^2$)

lpi: Espesor de la pared ($0,95 m$)

lpe: Espesor de la pared ($0,9 m$)

$$R = \left\{ \frac{lpe}{K * (Ape - Apu - Aph)} \right\} + \left\{ \frac{lpi}{K * Api} \right\} \quad \text{Ecuación 30.}$$

$$R = \left\{ \frac{0,9}{0,8 * ((1,8 * 44,1) - ((23,52) + (1,57)))} \right\} + \left\{ \frac{0,95}{0,8 * (1,8 * 44,1)} \right\}$$

$$R = 0,035 \frac{K}{W}$$

Remplazando en la ecuación 29:

$$Q_p = \frac{(T_{3i} - T_{7e})t}{R}$$

Para un tiempo de 1 horas y la temperatura, $T_{3i} = 30,39^{\circ}C$, $T_{7e} = 19,86^{\circ}C$; el calor perdido será:

$$Q_p = \frac{(30,39 - 19,86)t}{0,035}$$

$$Q_p = 1062,29kJ$$

⁵⁸ DONALD, Kern. Procesos de transferencia de calor. Magraw Hill. México .1999.

Tabla 15. Calor por Pared.

Calor por pared				
Conductividad		0,8	W/m-K	Qp
		Temperaturas		
Hora de toma	N° de horas	T _{3i} Pared (°C)	T _{7e} Pared (°C)	
04:42:08 p.m.	0	29,78	19,92	(KJ)
05:42:08 p.m.	01:00	30,39	19,86	1062,292
06:42:08 p.m.	01:00	32,27	19,97	1240,854
07:42:08 p.m.	01:00	33,64	19,68	1408,319
08:42:08 p.m.	01:00	36,09	19,48	1675,657
09:42:08 p.m.	01:00	39,75	19,43	2049,931
10:42:08 p.m.	01:00	46,15	19,87	2651,191
11:42:09 p.m.	01:00	57,15	19,49	3799,233
12:42:09 a.m.	01:00	80,42	20,01	6094,308
01:42:09 a.m.	01:00	131,06	21,43	11059,74
02:42:09 a.m.	01:00	322,32	24,28	30067
03:42:09 a.m.	01:00	668,17	35,89	63785,95
04:42:09 a.m.	01:00	594,34	48,47	55068,7
05:42:09 a.m.	01:00	705,74	61,84	64958,21
06:42:09 a.m.	01:00	714,23	96,34	62334,25
07:42:09 a.m.	01:00	691,35	122,95	57341,58
08:42:09 a.m.	01:00	652,92	141,77	51566,06
09:42:09 a.m.	01:00	622,14	152,93	47335,05
10:42:09 a.m.	01:00	591,96	161,77	43398,62
11:42:10 a.m.	01:00	558,24	172,25	38939,61
12:42:10 p.m.	01:00	509,89	199,35	31328,03
01:42:10 p.m.	01:00	448,28	163,23	28756,54
02:42:10 p.m.	01:00	384,57	136,43	25032,97
03:18:50 p.m.	00:38	32,17	32,08	5,447652
Total	22,6			630.959,57

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.2.11 Calor por cúpula (Q_c)

Para un flujo radial a través de la sección y para ladrillo refractario de con conductividad térmica de $0,43 \text{ W/m-K}$ ⁵⁹ las ecuaciones 31 y 32 se tendrán en cuenta para desarrollar el cálculo.

$$Q_c = U * \Delta T * t \quad \text{Ecuación 31.}$$

L : Longitud total de la Cúpula ($44,1m$)
 re : Radio equivalente de la cúpula ($1,57m$)
 ri : Radio Interior ($1m$)
 t : Tiempo de medición cada hora.

$$R = \frac{\text{Ln}(re/ri)}{2\pi kl} \quad \text{Ecuación 32.}$$

$$R = \frac{\text{Ln}(1,57/1)}{2\pi * 0,43 * 44,1}$$

$$R = 0,0038 \text{ K/w}$$

$$U = \frac{1}{0,0038} \quad U = 260,99 \text{ w/K}$$

Remplazando, donde $T_{4i} = 75,05^\circ\text{C}$, $T_{8e} = 32,49^\circ\text{C}$; para el primer cálculo por calor en la cúpula será (Ver tabla 16):

$$Q_c = 260,99 * (75,05 - 32,49) * t$$

$$Q_c = 39,98 * 10^3 \text{ kJ}$$

⁵⁹ VASA.Sofware. [En línea]. Disponible en: < http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/fis/condutermica.pdf> [Citado el 22 mayo de 2015]

Tabla 16. Calor por cúpula.

Calor por cúpula				
Conductividad		0,43	W/m-K	Qp
		Temperaturas		
Hora de toma	N° de horas	T _{4i} Cúpula (°C)	T _{8e} Cúpula (°C)	
04:42:08 p.m.	0	63,12	32,88	(KJ)
05:42:08 p.m.	01:00	75,05	32,49	39987,8697
06:42:08 p.m.	01:00	89,26	34,20	51732,4272
07:42:08 p.m.	01:00	104,26	33,30	66671,5045
08:42:08 p.m.	01:00	114,62	33,80	75935,6115
09:42:08 p.m.	01:00	129,25	36,02	87595,6083
10:42:08 p.m.	01:00	152,92	40,54	105588,27
11:42:09 p.m.	01:00	179,21	40,21	130599,48
12:42:09 a.m.	01:00	224,22	43,45	169845,094
01:42:09 a.m.	01:00	293,90	53,27	226087,431
02:42:09 a.m.	01:00	441,01	59,47	358481,48
03:42:09 a.m.	01:00	568,91	77,97	461269,848
04:42:09 a.m.	01:00	577,50	113,75	435723,086
05:42:09 a.m.	01:00	696,98	171,57	493656,64
06:42:09 a.m.	01:00	789,00	286,33	472290,941
07:42:09 a.m.	01:00	808,84	373,37	409152,199
08:42:09 a.m.	01:00	734,89	371,47	341456,569
09:42:09 a.m.	01:00	691,88	373,11	299505,01
10:42:09 a.m.	01:00	651,64	354,49	279191,623
11:42:10 a.m.	01:00	605,99	349,95	240566,122
12:42:10 p.m.	01:00	555,86	333,71	208724,277
01:42:10 p.m.	01:00	510,93	311,05	187800,174
02:42:10 p.m.	01:00	470,73	284,89	174608,686
03:18:50 p.m.	00:38	438,30	275,57	91737,2091
Total	22,6			5.408,21

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.2.12 Calor por los humos (Qh)

Es el calor desaprovechado que sale por la superficie de la chimenea del horno.

$$Q_h = m_{as} * C_p * \Delta T \quad \text{Ecuación 33.}$$

C_g : Calor específico de los gases de escape ($kJ/kg * K$) (Ver tabla 17).

ΔT : Diferencia de temperatura entre los gases de escape y el medio ambiente.

$$C_g = 0.23 + 0.00005 * T_{6i}^{60} \quad \text{Ecuación 34.}$$

$$\dot{P}_g = C_c * P_{gu} \quad \text{Ecuación 35.}$$

\dot{P}_g : Peso de los gases producidos en la unidad de tiempo (kg/h)

C_c : Consumo de carbón (kg/h)

$P_{gu} \cdot M_{rm}$: kg de gases producidos por kg de carbón :

A continuación se hará un ejemplo del cálculo del calor por chimenea. El peso de los humos producidos por un kilogramo de carbón en unidad de tiempo será:

De la ecuación 34:

$$\dot{P}_g = 537,33 \frac{kg}{h} * 13,95 \frac{kgHumos}{kgCarbón}$$

$$\dot{P}_g = 7495,86 \frac{kgHumos}{h}$$

$$P_g = \dot{P}_g * t \quad \text{Ecuación 36.}$$

$$P_g = 7495,86 * 1$$

$$P_g = 7495,86 kgHumos$$

⁶⁰ VERA Duarte, Luis Emilio. Evaluación de las pérdidas de energía en los hornos tipo colmena de tiro invertido en la ladrillera Cúcuta. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingeniería. 2003.

Luego se reemplaza en la ecuación 33, (Ver tabla 17).

$$Q_h = 7495,86 * 0,23287(57,4 - 23,6)$$

$$Q_h = 58.999 * 10^3 kJ$$

Tabla 17. Perdidas por humos.

Calor por Humos						
Hora de toma	N° de horas	Temperaturas			Calor específico (kJ/kg.K)	Q _h (kJ)
		Peso total (kg)	T _{9i} Gases (°C)	T _{10e} Amb. (°C)		
04:42:08 p.m.	0	351,61	55	23,9	0,23275	(kJ)
05:42:08 p.m.	01:00	351,61	57,4	23,6	0,23287	58999,961
06:42:08 p.m.	01:00	351,61	59	23,5	0,23295	61988,703
07:42:08 p.m.	01:00	351,61	60	23,5	0,233	63748,544
08:42:08 p.m.	01:00	351,61	61,7	23,4	0,233085	66916,711
09:42:08 p.m.	01:00	351,61	62,1	22,1	0,233105	69892,901
10:42:08 p.m.	01:00	351,61	64,3	22,7	0,233215	72722,918
11:42:09 p.m.	01:00	351,61	69	22,5	0,23345	81370,749
12:42:09 a.m.	01:00	351,61	73,3	22,2	0,233665	89502,682
01:42:09 a.m.	01:00	351,61	71	21,1	0,23355	87357,843
02:42:09 a.m.	01:00	351,61	70	21,6	0,2335	84713,716
03:42:09 a.m.	01:00	351,61	70,6	21	0,23353	86825,21
04:42:09 a.m.	01:00	351,61	71,3	21,2	0,233565	87713,608
05:42:09 a.m.	01:00	351,61	73,2	22,6	0,23366	61036,519
06:42:09 a.m.	01:00	351,61	75,6	22,6	0,23378	63964,365
07:42:09 a.m.	01:00	351,61	58,7	22,3	0,232935	43771,457
08:42:09 a.m.	01:00	351,61	93,5	22,7	0,234675	85773,86
09:42:09 a.m.	01:00	351,61	93,4	24,5	0,23467	83470,24
10:42:09 a.m.	01:00	351,61	95	27,8	0,23475	81438,496
11:42:10 a.m.	01:00	351,61	97,6	23,4	0,23488	89971,469
12:42:10 p.m.	01:00	351,61	100,4	21,5	0,23502	95727,495
01:42:10 p.m.	01:00	351,61	117,6	22,3	0,23588	116048,33
02:42:10 p.m.	01:00	351,61	127,8	21	0,23639	130333,25
03:18:50 p.m.	00:38	210,96	130	21	0,2365	83840,346
Total	22,6					1.847.129,37

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.2.13 Pérdidas intangibles (Q_{in})

Estas son las pérdidas de energía que se presentan debido a que todos los fenómenos presentes que son muy difíciles de medir como: hidrocarburos, hidrogeno, Humos negros y radiación hacia el exterior de las hornillas.

Esta pérdida es la diferencia entre la energía aportada por el combustible y la sumatoria de los calores calculados anteriormente.

$$Q_{in} = Q_H - Q_T \text{ Ecuación 37.}$$

$$Q_{in} = (435,026 - 430,38) * 10^6$$

$$Q_{in} = 4,64 * 10^6 \text{ kJ}$$

Tabla 18. Balance Termodinámico del Horno Hoffman.

Descripción	(kJ)	Porcentaje (%)
Calor de entrada	435.026.308,249	100
Acumulación de calor en mampostería	265.781.217,940	61,09
Calor por carga del material a coser	104.355.480,381	23,98
Calor por sacar la humedad del material	12.037.053,988	2,76
Calor por descomposición química de la arcilla	16.632.511,122	3,82
Calor por humedad del carbón	11.176.681,151	2,56
Calor por agua de combustión	8.579.005,717	1,97
Calor por humedad de aire	6.750.666,213	1,55
Calor por inquemados	2.584.209,773	0,59
Calor por cúpula	5.408,207	0,0012
Calor por pared	630.959,57	0,14
Calor por los humos	1.847.129,368	0,42
Cantidad de calor total.	430.380.323,426	98,93
Calor por intangibles	4.645.984,822	1,06
Total	435.026.308,249	100

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.2.14 Rendimiento del horno

Este se determinara por:

5.2.14.1 Por el calor real utilizado para la cocción del material

$$\eta = \frac{Q_{cm} + Q_{wm} + Q_{dq}}{QT} * 100 \quad \text{Ecuación 38.}$$

$$\eta = \frac{104,35 * 10^6 + 12,037 * 10^6 + 16,632 * 10^6}{435,026 * 10^6} * 100$$

$$\eta = 30,58\%$$

5.2.14.2 Por cantidad de material cocido

$$\eta = \frac{QT}{\text{Peso.del.material}} \quad \text{Ecuación 39.}$$

$$\eta = \frac{435,026 * 10^6 \text{ kJ}}{154816,2 \text{ kg}}$$

$$\eta = 2809,95 \text{ kJ/kg Del material}$$

5.3 EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA EN EL HORNO CIRCULAR⁶¹

El balance energético en el horno el Recreo dos cerca a la vía circunvalar, consiste en determinar si la energía suministrada al proceso se cocción es igual a la que sale del el, todo el proceso de producción es artesanal, las características finales del bloque no son las ideales, principalmente este horno está dedicado a la producción de bloque común y ladrillo H-10 para la comercialización en las zonas aledañas de la provincia de Ocaña. Este horno utiliza carbón mineral para la cocción del material, el consumo total de carbón promedio es de 1500 kg para una producción de 4300 bloques dos veces al mes.

Figura 82. Horno circular.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Los flujos de energía durante el proceso de cocción para el horno será el siguiente:

$$Q_T = Q_o + Q_{cm} + Q_{wm} + Q_{dq} + Q_{wc} + Q_{ac} + Q_{wa} + Q_i + Q_p + Q_h \quad \text{Ecuación 40.}$$

Q_T : Cantidad de calor total

Q_o : Acumulación de calor en mampostería

Q_{cm} : Calor por carga del material a coser

Q_{wm} : Calor para sacar la humedad del material

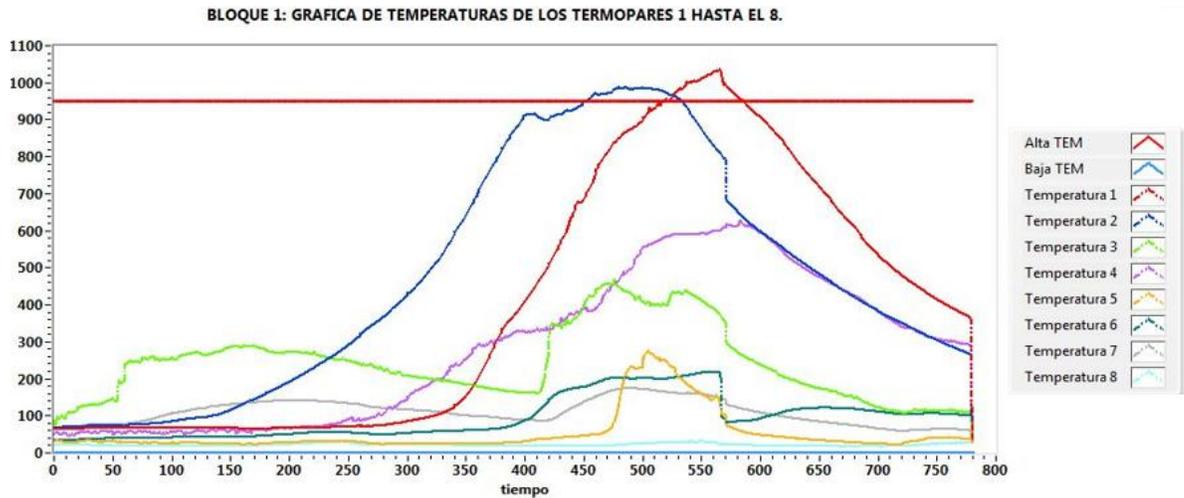
Q_{dq} : Calor necesario para la descomposición química de arcilla

Q_{wc} : Calor por humedad de carbón

⁶¹ MENESES, Calderón. JOSÉ Agustín. Evaluación de las Perdidas de Energía en los Hornos tipo Colmena de Tiro Invertido. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingeniería. Plan de estudios de Ingeniería Mecánica San José de Cúcuta. 2003.

Q_{ac} : Calor por agua formada en la combustión
 Q_{wa} : Calor por humedad de aire
 Q_i : Calor por inquemados
 Q_p : Calor por pared
 Q_h : Calor por humos

Figura 83. Perfiles de Temperatura del Horno Circular



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.3.1 Calor de entrada (Q_t)

$$Q_H = P_c * m_c \quad \text{Ecuación 41.}$$

Q_H : Calor de entrada (kJ)

P_c : Poder calorífico (kJ/kg)⁶²

m_c : Masa de carbón consumida⁶³

Reemplazado obtenemos:

$$Q_H = 41947,33 * 1500$$

$$Q_H = 62,92 * 10^6 kJ$$

⁶² VEGA, Mohalem, Anderson & YOLIAN Cortes Díaz. Aprovechamiento de los gases generados por el horno Hoffman para mejorar la zona de secado en la ladrillera Ocaña. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Ingeniería mecánica. Ocaña. 2014.

⁶³ Ladrillera el Recreo dos. Ocaña. 2015

5.3.2 Acumulación de calor en mampostería (Q_0)

$$Q_o = V_o * \gamma_o * C_o * T_m \quad \text{Ecuación 42.}$$

V_o : Volumen del horno (m^3)

γ_o : Densidad del ladrillo del horno ($1922 \text{ kg}/m^3$)⁶⁴

C_o : Calor específico del ladrillo del horno ($0,79 \text{ kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$)⁶⁵

T_m : Temperatura media de los puntos de medición ($^{\circ}\text{C}$)

Q_{po} : Calor acumulado en la pared (kJ)

Q_{pio} : Calor acumulado en la cúpula (kJ)

$$Q_o = Q_{po} + Q_{pio} \quad \text{Ecuación 43.}$$

Donde:

$$Q_o = \gamma_o C_o \{ (V_p * T_{mp}) + (V_{pi} * T_{mpi}) \} \quad \text{Ecuación 44.}$$

T_{mp} : Temperatura media de la pared ($^{\circ}\text{C}$)

T_{mpi} : Temperatura media del piso ($^{\circ}\text{C}$)

V_{pi} : Volumen del piso (m^3)

V_p : Volumen de la pared (m^3)

Se tomarán las temperaturas máximas durante la prueba.

$$T_m = \frac{T_i + T_e}{2} \quad \text{Ecuación 45.}$$

Tabla 19. Temperatura media de los puntos de medición.

PUNTO DE MEDICIÓN	Temp. Inte. $^{\circ}\text{C}$	Temp. Ext. $^{\circ}\text{C}$	Temp. Media (K)
T_{mp} : Temperatura media de la pared	468,15	140,45	577,3
T_{mpi} : Temperatura media del piso	986,16	209,83	870,99
T_{mi} : Temperatura media interior ($^{\circ}\text{K}$)	1034,53	276,2	928,36
T_{mg} : Temperatura media de los gases	627,35	30,96	602,15
T_0 : Temperatura inicial (Materiales)	39,7 $^{\circ}\text{C}$		312,7

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

⁶⁴ CENGEL, Yunus A. Termodinámica. 6 ed. México: Mc Graw-Hill, 2009. 909 p.

⁶⁵ Ibid 909

Al volumen por pared le restaremos los volúmenes de la puerta.

$$V_p = \frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2) L - \{l_p * b_p * t_p\} \text{ Ecuación 46.}$$

D_o : Diámetro exterior del horno (2,6 m)

D_i : Diámetro interior del horno (2,12 m)

L : Altura del horno (4,52 m)

r_p : radio de la puerta del horno (1,3 m)

l_p : Altura de la puerta (2,5 m)

t_p : Espesor de la pared (0,24 m)

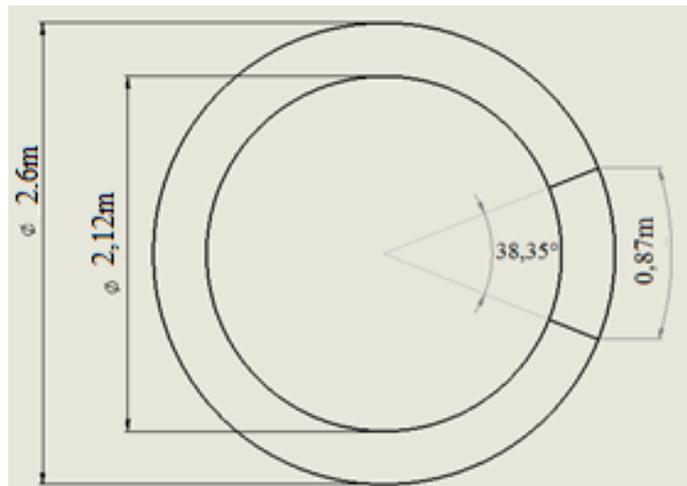
b_p : base de la puerta (0,8 m)

S_p : Ancho de la puerta (m)

$$S_p = \frac{2\pi * r_p * \theta_s}{360^\circ} \text{ Ecuación 47.}$$

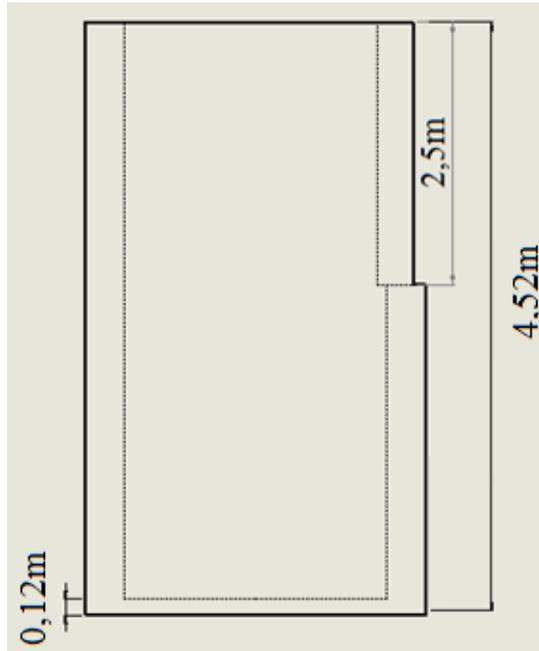
$$S_p = \frac{2\pi * 1,3 * 38,35^\circ}{360^\circ} \quad S_p = 0,87 \text{ m}$$

Figura 84. Vista superior del horno.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Figura 85. Vista lateral del horno.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

El volumen por pared será:

$$V_p = \frac{\pi}{4} (2,6^2 - 2,12^2) * 4,4 - \{(2,5 * 0,87 * 0,24)\}$$

$$V_p = 7,31m^3$$

El volumen del piso será:

$$V_{pi} = \pi * r_{pi}^2 * t_{pi} \text{ Ecuación 48.}$$

r_{pi} : Radio del piso (1,3m)

t_{pi} : Espesor del piso (0,12m)

$$V_{pi} = \pi * 1,3^2 * 0,12$$

$$V_{pi} = 0,63 m^3$$

Reemplazando en la ecuación 44, la acumulación de calor será:

$$Q_o = 1922 * 0,79 \{ (7,31 * (577,3 - 312,7)) + (0,63 * (870,99 - 312,7)) \}$$

$$Q_o = 3,47 * 10^6 \text{ kJ}$$

5.3.3 Calor por carga del material a coser (Qcm)

$$Q_{cm} = m_{se} * C_{om} * (T_{max} - T_{mi}) \quad \text{Ecuación 49.}$$

m_{se} : Masa seca de la carga (kg)

C_{om} : Calor específico del material (0,79 kJ/kg-K)

T_{max} : Temperatura de salida de los materiales (1034,53 °C)

T_{mi} : Temperatura de entrada de los materiales (39,7°C)

$$m_{se} = (1 - y_m) m_t \quad \text{Ecuación 50.}$$

m_t : Masa total de carga (kg)

y_m : Humedad del material (%)⁶⁶

En la tabla siguiente se encuentran los pesos promedios de cada uno de los productos al momento de ingresar y salir del horno (ver tabla 20).

Tabla 20. Peso promedio de cada uno de los productos

Ítem	Tipo del material	Cantidad	Peso promedio (kg) con y_m	Peso total (kg)	Peso cocido (kg)	% perdida	Peso total cocido
1	Bloque normal	4000	4,15	16600	3,8	4,4	15200
2	Ladrillo H-10	300	9,35	2805	9,14	9,63	2742
		4300	Peso total de carga	19405	Humedad química: 0,00154		17942

Fuente: JACOME, Sergio Armando. 2015.

⁶⁶ MENESES, Calderón. JOSÉ Agustín. Evaluación de las Perdidas de Energía en los Hornos tipo Colmena de Tiro Invertido. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingeniería. Plan de estudios de Ingeniería Mecánica San José de Cúcuta. 2003.

Luego Tenemos,

$$m_{se} = (1 - 0,08) * 19405$$

$$m_{se} = 17852,6 \text{ kg}$$

Reemplazando en la ecuación 49, el calor será:

$$Q_{cm} = 17852,6 * 0,79 * (1034,53 - 39,7)$$

$$Q_{cm} = 14,03 * 10^6 \text{ kJ}$$

5.3.4 Calor para sacar la humedad del material (Q_{wm})

Es el calor necesario para evaporar dicha cantidad de agua en el proceso.

$$Q_{wm} = m_t y_m (h_g - u_m) \quad \text{Ecuación 51.}$$

h_g : Entalpía de los gases (kJ/kg)⁶⁷

u_m : Energía interna del material (kJ/kg)⁶⁸

Como el agua se evapora a los 100°C , se tomará la entalpía de los gases y la energía interna del material a 20°C .

$$Q_{wm} = 17852,6 * 0,08(2675,6 - 83,913)$$

$$Q_{wm} = 4,02 * 10^6 \text{ kJ}$$

5.3.5 Calor necesario para la descomposición química de la arcilla (Q_{dq})⁶⁹

Se considera el calor para la descomposición química de los carbonatos (CaCO_3) y la evaporación del agua combinada presentes en la arcilla. Este está dado por:

$$Q_{dq} = m_{se} * yP(C_{dqCaC\bar{o}} + C_{dqagua}) \quad \text{Ecuación 52.}$$

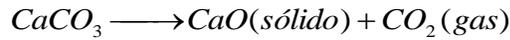
⁶⁷ CENGEL, Yunus A. Termodinámica. 6 ed. México: Mc Graw-Hill, 2009. 910 p.

⁶⁸ Ibid., p. 910.

⁶⁹ VERA Duarte, Luis Emilio. Evaluación de las pérdidas de energía en los hornos tipo colmena de tiro invertido en la ladrillera Cúcuta. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingeniería. 2003.

Considerando la pérdida de peso de los productos durante la cocción y descontando la humedad libre con que entran al horno (8%), queda una pérdida de peso promedio del 0,15% (ver tabla 20), que se considera el peso perdido por la descomposición del CaCO_3 y por la evaporación del agua combinada.

El CaCO_3 se descompone en:



Esta descomposición se produce sobre la zona de cocción a entre 600 y 800 °C, el calor de reacción es de 607.2 kJ/kg de CO_2 producido, tomada a 600 °C⁷⁰. La cantidad de carbonatos en las arcillas de la zona es de trazas, por lo tanto este CO_2 producido es despreciable, lo que indica que la pérdida de peso del material se debe al agua combinada este es de 0,15 %, y la energía necesaria para este proceso es de (3705,0 – 83,95) kJ/kg agua, tomada a 600 °C⁷¹

$$Q_{dq} = 17852,6 * 0,0015(3705 - 83,95)$$

$$Q_{dq} = 99,58 * 10^3 \text{ kJ}$$

5.3.6 Calor por humedad del carbón (Q_{wc})

$$Q_{wc} = m_c y_c (h_g - u_c) \quad \text{Ecuación 53.}$$

m_c : Masa del carbón total (kg)

y_c : Humedad del carbón (2,9%)⁷²

u_c : Energía interna del carbón (kJ/kg) a 20 °C

h_g : Entalpía del vapor de agua a la temperatura de los gases de la chimenea (kJ/kg)

Se realizó un cálculo de ejemplo (Ver tabla 21).

$$Q_{wc} = 1500 * 0,29(2587,75 - 83,913)$$

$$Q_{wc} = 108,91 * 10^3 \text{ kJ}$$

⁷⁰ British Estándar Test Code, Normas para el cálculo del balance térmico en hornos de ladrillo.

⁷¹ Ibid., p. 16.

⁷² Ladrillera Cúcuta.

Tabla 21. Calor por la humedad del carbón.

Calor por humedad de carbón					
Humedad del carbón		0,29	%	Entalpía del vapor	Q _{wc}
Energía inter. del agua		83,913	<i>kJ/kg</i>		
Hora de toma	N° de horas	Peso total (kg)	T ₄ Temp. Gases (°C)	(KJ/Kg)	(KJ)
04:38:16 p.m.	0	5,2	47,77	2587,75	108916,91
05:08:16 p.m.	00:30	5,2	48,23	2588,8	108962,585
05:38:16 p.m.	00:30	5,2	43,02	2578,88	108531,065
06:08:16 p.m.	00:30	5,2	51,34	2593,66	109173,995
06:38:16 p.m.	00:30	5,2	56,58	2602,85	109573,76
07:08:16 p.m.	00:30	5,2	56,91	2603,42	109598,555
07:38:16 p.m.	00:30	5,2	53,52	2303,62	96557,2545
08:08:16 p.m.	00:30	5,2	57,99	2605,3	109680,335
08:38:16 p.m.	00:30	5,2	57,90	2605,15	109673,81
09:08:16 p.m.	00:30	5,2	58,32	2605,88	109705,565
09:38:16 p.m.	00:30	5,2	54,40	2599,04	109408,025
10:08:16 p.m.	00:30	5,2	57,32	2604,14	109629,875
10:38:17 p.m.	00:30	5,2	59,02	2607,09	109758,2
11:08:17 p.m.	00:30	5,2	57,65	2604,71	109654,67
11:38:17 p.m.	00:30	5,2	53,84	2598,06	109365,395
12:08:17 a.m.	00:30	5,2	53,96	2598,27	109374,53
12:38:17 a.m.	00:30	5,2	51,27	2593,54	109168,775
01:08:17 a.m.	00:30	5,2	57,04	2603,65	109608,56
01:38:17 a.m.	00:30	5,2	56,78	2603,2	109588,985
02:08:17 a.m.	00:30	5,2	53,16	2596,86	109313,195
02:38:17 a.m.	00:30	5,2	58,82	2606,82	109746,455
03:08:17 a.m.	00:30	5,2	60,78	2610,16	109891,745
03:38:17 a.m.	00:30	5,2	60,67	2609,97	109883,48
04:08:17 a.m.	00:30	5,2	61,20	2610,89	109923,5
04:38:17 a.m.	00:30	5,2	63,71	2615,26	110113,595
05:08:17 a.m.	00:30	5,2	60,80	2610,19	109893,05
05:38:17 a.m.	00:30	5,2	55,60	2615,1	110106,635
06:08:17 a.m.	00:30	5,2	59,28	2608,55	109821,71
06:38:17 a.m.	00:30	5,2	62,51	2613,17	110022,68
07:08:17 a.m.	00:30	5,2	61,92	2612,14	109977,875
07:38:17 a.m.	00:30	5,2	57,34	2604,22	109633,355
08:08:17 a.m.	00:30	5,2	63,57	2615,01	110102,72
08:38:17 a.m.	00:30	5,2	65,98	2619,19	110284,55
09:08:17 a.m.	00:30	5,2	66,58	2620,22	110329,355

09:38:17 a.m.	00:30	5,2	67,66	2622,08	110410,265
10:08:18 a.m.	00:30	5,2	69,40	2625,07	110540,33
10:38:18 a.m.	00:30	5,2	69,68	2625,55	110561,21
11:08:18 a.m.	00:30	5,2	71,25	2628,23	110677,79
11:38:18 a.m.	00:30	5,2	71,74	2629,06	110713,895
12:08:18 p.m.	00:30	5,2	75,48	2635,41	110990,12
12:38:18 p.m.	00:30	5,2	78,21	2639,99	111189,35
01:08:18 p.m.	00:30	5,2	85,30	2651,89	111707
01:38:18 p.m.	00:30	5,2	95,26	2668,02	112408,655
02:08:18 p.m.	00:30	5,2	90,42	2660,27	112071,53
02:38:18 p.m.	00:30	5,2	90,60	2660,56	112084,145
03:08:18 p.m.	00:30	5,2	94,43	2666,69	112350,8
03:38:18 p.m.	00:30	5,2	106,92	2686,36	113206,445
04:08:18 p.m.	00:30	5,2	112,15	2694,33	113553,14
04:38:18 p.m.	00:30	5,2	121,23	2711,35	114293,51
05:08:18 p.m.	00:30	5,2	137,26	2729,88	115099,565
05:38:18 p.m.	00:30	5,2	147,25	2742,55	115650,71
06:08:18 p.m.	00:30	5,2	163,24	2760,93	116450,24
06:38:18 p.m.	00:30	5,2	173,21	2770,98	116887,415
07:08:18 p.m.	00:30	5,2	183,17	2779,86	117273,695
07:38:18 p.m.	00:30	5,2	198,89	2791,29	117770,9
08:08:18 p.m.	00:30	5,2	200,37	2792,21	117810,92
08:38:18 p.m.	00:30	5,2	231,97	2803,02	118281,155
09:08:18 p.m.	00:30	5,2	239,93	2803	118280,285
09:38:19 p.m.	00:30	5,2	249,22	2801,19	118201,55
10:08:19 p.m.	00:30	5,2	265,14	2793,39	117862,25
10:38:19 p.m.	00:30	5,2	293,45	2761,18	116461,115
11:08:19 p.m.	00:30	5,2	288,00	2769,5	116823,035
11:38:19 p.m.	00:30	5,2	299,63	2749,6	115957,385
12:08:19 a.m.	00:30	5,2	302,89	2743,7	115700,735
12:38:19 a.m.	00:30	5,2	313,99	2717,61	114565,82
01:08:19 a.m.	00:30	5,2	324,06	2687,25	113245,16
01:38:19 a.m.	00:30	5,2	327,17	2676,36	112771,445
02:08:19 a.m.	00:30	5,2	326,13	2680,16	112936,745
02:38:19 a.m.	00:30	5,2	329,37	2668,31	112421,27
03:08:19 a.m.	00:30	5,2	330,44	2664,19	112242,05
03:38:19 a.m.	00:30	5,2	331,72	2658,91	112012,37
04:08:19 a.m.	00:30	5,2	341,89	2611,83	109964,39
04:38:19 a.m.	00:30	5,2	354,01	2534,23	106588,79
05:08:19 a.m.	00:30	5,2	376,30	2554,28	107460,965
05:38:19 a.m.	00:30	5,2	381,68	3242,75	137409,41

06:08:19 a.m.	00:30	5,2	389,00	3257,63	138056,69
06:38:19 a.m.	00:30	5,2	381,68	3242,75	137409,41
07:08:19 a.m.	00:30	5,2	394,39	3268,59	138533,45
07:38:19 a.m.	00:30	5,2	429,12	3341,06	141685,895
08:08:19 a.m.	00:30	5,2	453,71	3392,62	143928,755
08:38:19 a.m.	00:30	5,2	468,64	3423,93	145290,74
09:08:20 a.m.	00:30	5,2	489,61	3467,91	147203,87
09:38:20 a.m.	00:30	5,2	507,32	3505,55	148841,21
10:08:20 a.m.	00:30	5,2	548,26	3594,23	152698,79
10:38:20 a.m.	00:30	5,2	559,40	3618,36	153748,445
11:08:20 a.m.	00:30	5,2	567,43	3635,75	154504,91
11:38:20 a.m.	00:30	5,2	577,51	3657,58	155454,515
12:08:20 p.m.	00:30	5,2	584,95	3673,7	156155,735
12:38:20 p.m.	00:30	5,2	589,87	3684,35	156619,01
01:08:20 p.m.	00:30	5,2	589,96	3684,55	156627,71
01:38:20 p.m.	00:30	5,2	589,23	3682,97	156558,98
02:08:20 p.m.	00:30	5,2	588,35	3681,06	156475,895
02:38:20 p.m.	00:30	5,2	591,91	3688,77	156811,28
03:08:20 p.m.	00:30	5,2	595,97	3697,57	157194,08
03:38:20 p.m.	00:30	5,2	599,53	3707,28	157616,465
04:08:20 p.m.	00:30	5,2	608,89	3726,17	158438,18
06:37:30 p.m.	02:30	26,04	616,86	3743,99	159213,35
07:07:30 p.m.	00:30	5,2	610,96	3730,8	158639,585
07:37:30 p.m.	00:30	5,2	627,35	3767,45	160233,86
08:07:30 p.m.	00:30	5,2	614,11	3737,84	158945,825
08:37:30 p.m.	00:30	5,2	605,56	3718,73	158114,54
09:07:30 p.m.	00:30	5,2	593,78	3692,82	156987,455
09:37:31 p.m.	00:30	5,2	578,30	3659,29	155528,9
10:07:31 p.m.	00:30	5,2	560,94	3621,69	153893,3
10:37:31 p.m.	00:30	5,2	543,15	3583,16	152217,245
11:07:31 p.m.	00:30	5,2	526,88	3547,92	150684,305
11:37:31 p.m.	00:30	5,2	513,07	3518	149382,785
12:07:31 a.m.	00:30	5,2	499,14	3487,89	148073
12:37:31 a.m.	00:30	5,2	486,58	3461,55	146927,21
01:07:31 a.m.	00:30	5,2	476,13	3439,64	145974,125
01:37:31 a.m.	00:30	5,2	465,81	3418	145032,785
02:07:31 a.m.	00:30	5,2	455,70	3396,8	144110,585
02:37:31 a.m.	00:30	5,2	446,18	3376,83	143241,89
03:07:31 a.m.	00:30	5,2	436,03	3355,55	151016,21
03:37:31 a.m.	00:30	5,2	425,54	3333,55	141359,21
04:07:31 a.m.	00:30	5,2	414,89	3311,22	140387,855

04:37:31 a.m.	00:30	5,2	400,66	3281,38	139089,815
05:07:31 a.m.	00:30	5,2	386,44	3252,43	137830,49
05:37:31 a.m.	00:30	5,2	374,11	3227,36	136739,945
06:07:31 a.m.	00:30	5,2	362,31	2422,58	101732,015
06:37:31 a.m.	00:30	5,2	350,36	2560,93	107750,24
07:07:31 a.m.	00:30	5,2	338,44	2628,86	110705,195
07:37:31 a.m.	00:30	5,2	336,31	2638,23	111112,79
08:07:31 a.m.	00:30	5,2	325,88	2684,12	113109,005
08:37:31 a.m.	00:30	5,2	317,79	2719,72	114657,605
09:07:31 a.m.	00:30	5,2	310,40	2752,24	116072,225
09:37:32 a.m.	00:30	5,2	306,17	2770,85	116881,76
10:07:32 a.m.	00:30	5,2	303,00	2784,8	117488,585
10:37:32 a.m.	00:30	5,2	299,96	2749,67	115960,43
11:07:32 a.m.	00:30	5,2	295,36	2758,04	116324,525
11:37:32 a.m.	00:30	5,2	294,02	2760,26	116421,095
12:07:32 p.m.	00:30	5,2	38,13	2570,17	108152,18
Total	67:30				16.467.708,17

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.3.7 Calor por agua formada en la combustión (Q_{ac})

$$Q_{ac} = m_{cu} * m_{ac} (h_g - u_a) \quad \text{Ecuación 54.}$$

m_{ac} : Masa del agua formada en la combustión (kg H_2O /kg Comb)

m_{cu} : Masa del carbón en el transcurso del tiempo (kg)

h_g : Entalpía del agua de vapor (kJ/kg)

u_a : Energía interna del agua (kJ/kg), a temperatura de 20 °C

Tabla 22. Composición química del carbón.

Composición	Porcentajes (%)
C	78.40
H ₂	4.20
O ₂	6.20
N ₂	1.70
S	1.20
Cenizas	5.40
H ₂ O	2.9
Total	100

Fuente. Ladrillera Cúcuta.2003.

$$m_{ac} = 9 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \quad \text{Ecuación 55.}$$

Reemplazando,

$$m_{ac} = 9 \left(0.042 - \frac{0.062}{8} \right)$$

$$m_{ac} = 0.30825 \frac{kgH_2O}{kgComb}$$

Reemplazando en la ecuación 54, se tendrá.

mcu: cantidad de carbón durante la cocción cada 30 min. (5,2 kg)

$$Q_{ac} = 5,2 * 0.30825(2587,75 - 83.913)$$

$$Q_{ac} = 4,01 * 10^3 kJ$$

A continuación se presenta el calor total por agua en la combustión variando la entalpía de vapor y el peso del carbón. (Ver tabla 23).

Tabla 23. Calor por agua formada en la combustión.

Agua formada en la combustión					
Masa agua combustión		0,30825	kg H ₂ O/kg Comb	Entalpía del vapor	Qac
Energía inter. del agua		83,913	<i>kJ/kg</i>		
Hora de toma	Nº de horas	Peso total (kg)	T ₄ Temp. Gases (°C)	(KJ/Kg)	(KJ)
04:38:16 p.m.	0	5,2	47,77	2587,75	4019,832
05:08:16 p.m.	00:30	5,2	48,23	2588,8	4021,518
05:38:16 p.m.	00:30	5,2	43,02	2578,88	4005,592
06:08:16 p.m.	00:30	5,2	51,34	2593,66	4029,32
06:38:16 p.m.	00:30	5,2	56,58	2602,85	4044,075
07:08:16 p.m.	00:30	5,2	56,91	2603,42	4044,99
07:38:16 p.m.	00:30	5,2	53,52	2303,62	3563,67
08:08:16 p.m.	00:30	5,2	57,99	2605,3	4048,008
08:38:16 p.m.	00:30	5,2	57,90	2605,15	4047,767
09:08:16 p.m.	00:30	5,2	58,32	2605,88	4048,939
09:38:16 p.m.	00:30	5,2	54,40	2599,04	4037,958
10:08:16 p.m.	00:30	5,2	57,32	2604,14	4046,146
10:38:17 p.m.	00:30	5,2	59,02	2607,09	4050,882
11:08:17 p.m.	00:30	5,2	57,65	2604,71	4047,061
11:38:17 p.m.	00:30	5,2	53,84	2598,06	4036,384
12:08:17 a.m.	00:30	5,2	53,96	2598,27	4036,722
12:38:17 a.m.	00:30	5,2	51,27	2593,54	4029,128
01:08:17 a.m.	00:30	5,2	57,04	2603,65	4045,359
01:38:17 a.m.	00:30	5,2	56,78	2603,2	4044,637
02:08:17 a.m.	00:30	5,2	53,16	2596,86	4034,458
02:38:17 a.m.	00:30	5,2	58,82	2606,82	4050,448
03:08:17 a.m.	00:30	5,2	60,78	2610,16	4055,811
03:38:17 a.m.	00:30	5,2	60,67	2609,97	4055,506
04:08:17 a.m.	00:30	5,2	61,20	2610,89	4056,983
04:38:17 a.m.	00:30	5,2	63,71	2615,26	4063,999
05:08:17 a.m.	00:30	5,2	60,80	2610,19	4055,859
05:38:17 a.m.	00:30	5,2	55,60	2615,1	4063,742
06:08:17 a.m.	00:30	5,2	59,28	2608,55	4053,226
06:38:17 a.m.	00:30	5,2	62,51	2613,17	4060,643
07:08:17 a.m.	00:30	5,2	61,92	2612,14	4058,989
07:38:17 a.m.	00:30	5,2	57,34	2604,22	4046,274
08:08:17 a.m.	00:30	5,2	63,57	2615,01	4063,597
08:38:17 a.m.	00:30	5,2	65,98	2619,19	4070,308
09:08:17 a.m.	00:30	5,2	66,58	2620,22	4071,962

09:38:17 a.m.	00:30	5,2	67,66	2622,08	4074,948
10:08:18 a.m.	00:30	5,2	69,40	2625,07	4079,748
10:38:18 a.m.	00:30	5,2	69,68	2625,55	4080,519
11:08:18 a.m.	00:30	5,2	71,25	2628,23	4084,821
11:38:18 a.m.	00:30	5,2	71,74	2629,06	4086,154
12:08:18 p.m.	00:30	5,2	75,48	2635,41	4096,349
12:38:18 p.m.	00:30	5,2	78,21	2639,99	4103,702
01:08:18 p.m.	00:30	5,2	85,30	2651,89	4122,807
01:38:18 p.m.	00:30	5,2	95,26	2668,02	4148,703
02:08:18 p.m.	00:30	5,2	90,42	2660,27	4136,261
02:38:18 p.m.	00:30	5,2	90,60	2660,56	4136,726
03:08:18 p.m.	00:30	5,2	94,43	2666,69	4146,568
03:38:18 p.m.	00:30	5,2	106,92	2686,36	4178,147
04:08:18 p.m.	00:30	5,2	112,15	2694,33	4190,943
04:38:18 p.m.	00:30	5,2	121,23	2711,35	4218,268
05:08:18 p.m.	00:30	5,2	137,26	2729,88	4248,017
05:38:18 p.m.	00:30	5,2	147,25	2742,55	4268,359
06:08:18 p.m.	00:30	5,2	163,24	2760,93	4297,867
06:38:18 p.m.	00:30	5,2	173,21	2770,98	4314,002
07:08:18 p.m.	00:30	5,2	183,17	2779,86	4328,259
07:38:18 p.m.	00:30	5,2	198,89	2791,29	4346,609
08:08:18 p.m.	00:30	5,2	200,37	2792,21	4348,086
08:38:18 p.m.	00:30	5,2	231,97	2803,02	4365,441
09:08:18 p.m.	00:30	5,2	239,93	2803	4365,409
09:38:19 p.m.	00:30	5,2	249,22	2801,19	4362,503
10:08:19 p.m.	00:30	5,2	265,14	2793,39	4349,981
10:38:19 p.m.	00:30	5,2	293,45	2761,18	4298,269
11:08:19 p.m.	00:30	5,2	288,00	2769,5	4311,626
11:38:19 p.m.	00:30	5,2	299,63	2749,6	4279,677
12:08:19 a.m.	00:30	5,2	302,89	2743,7	4270,205
12:38:19 a.m.	00:30	5,2	313,99	2717,61	4228,318
01:08:19 a.m.	00:30	5,2	324,06	2687,25	4179,576
01:38:19 a.m.	00:30	5,2	327,17	2676,36	4162,093
02:08:19 a.m.	00:30	5,2	326,13	2680,16	4168,193
02:38:19 a.m.	00:30	5,2	329,37	2668,31	4149,169
03:08:19 a.m.	00:30	5,2	330,44	2664,19	4142,554
03:38:19 a.m.	00:30	5,2	331,72	2658,91	4134,077
04:08:19 a.m.	00:30	5,2	341,89	2611,83	4058,492
04:38:19 a.m.	00:30	5,2	354,01	2534,23	3933,907
05:08:19 a.m.	00:30	5,2	376,30	2554,28	3966,097
05:38:19 a.m.	00:30	5,2	381,68	3242,75	5071,414

06:08:19 a.m.	00:30	5,2	389,00	3257,63	5095,303
06:38:19 a.m.	00:30	5,2	381,68	3242,75	5071,414
07:08:19 a.m.	00:30	5,2	394,39	3268,59	5112,899
07:38:19 a.m.	00:30	5,2	429,12	3341,06	5229,248
08:08:19 a.m.	00:30	5,2	453,71	3392,62	5312,026
08:38:19 a.m.	00:30	5,2	468,64	3423,93	5362,293
09:08:20 a.m.	00:30	5,2	489,61	3467,91	5432,901
09:38:20 a.m.	00:30	5,2	507,32	3505,55	5493,331
10:08:20 a.m.	00:30	5,2	548,26	3594,23	5635,704
10:38:20 a.m.	00:30	5,2	559,40	3618,36	5674,444
11:08:20 a.m.	00:30	5,2	567,43	3635,75	5702,363
11:38:20 a.m.	00:30	5,2	577,51	3657,58	5737,411
12:08:20 p.m.	00:30	5,2	584,95	3673,7	5763,291
12:38:20 p.m.	00:30	5,2	589,87	3684,35	5780,389
01:08:20 p.m.	00:30	5,2	589,96	3684,55	5780,71
01:38:20 p.m.	00:30	5,2	589,23	3682,97	5778,174
02:08:20 p.m.	00:30	5,2	588,35	3681,06	5775,107
02:38:20 p.m.	00:30	5,2	591,91	3688,77	5787,485
03:08:20 p.m.	00:30	5,2	595,97	3697,57	5801,613
03:38:20 p.m.	00:30	5,2	599,53	3707,28	5817,202
04:08:20 p.m.	00:30	5,2	608,89	3726,17	5847,53
06:37:30 p.m.	02:30	26,04	616,86	3743,99	29380,7
07:07:30 p.m.	00:30	5,2	610,96	3730,8	5854,963
07:37:30 p.m.	00:30	5,2	627,35	3767,45	5913,804
08:07:30 p.m.	00:30	5,2	614,11	3737,84	5866,266
08:37:30 p.m.	00:30	5,2	605,56	3718,73	5835,585
09:07:30 p.m.	00:30	5,2	593,78	3692,82	5793,987
09:37:31 p.m.	00:30	5,2	578,30	3659,29	5740,156
10:07:31 p.m.	00:30	5,2	560,94	3621,69	5679,79
10:37:31 p.m.	00:30	5,2	543,15	3583,16	5617,932
11:07:31 p.m.	00:30	5,2	526,88	3547,92	5561,355
11:37:31 p.m.	00:30	5,2	513,07	3518	5513,319
12:07:31 a.m.	00:30	5,2	499,14	3487,89	5464,979
12:37:31 a.m.	00:30	5,2	486,58	3461,55	5422,691
01:07:31 a.m.	00:30	5,2	476,13	3439,64	5387,515
01:37:31 a.m.	00:30	5,2	465,81	3418	5352,772
02:07:31 a.m.	00:30	5,2	455,70	3396,8	5318,737
02:37:31 a.m.	00:30	5,2	446,18	3376,83	5286,675
03:07:31 a.m.	00:30	5,2	436,03	3555,55	5573,605
03:37:31 a.m.	00:30	5,2	425,54	3333,55	5217,191
04:07:31 a.m.	00:30	5,2	414,89	3311,22	5181,341

04:37:31 a.m.	00:30	5,2	400,66	3281,38	5133,433
05:07:31 a.m.	00:30	5,2	386,44	3252,43	5086,955
05:37:31 a.m.	00:30	5,2	374,11	3227,36	5046,706
06:07:31 a.m.	00:30	5,2	362,31	2422,58	3754,657
06:37:31 a.m.	00:30	5,2	350,36	2560,93	3976,773
07:07:31 a.m.	00:30	5,2	338,44	2628,86	4085,833
07:37:31 a.m.	00:30	5,2	336,31	2638,23	4100,876
08:07:31 a.m.	00:30	5,2	325,88	2684,12	4174,551
08:37:31 a.m.	00:30	5,2	317,79	2719,72	4231,706
09:07:31 a.m.	00:30	5,2	310,40	2752,24	4283,916
09:37:32 a.m.	00:30	5,2	306,17	2770,85	4313,793
10:07:32 a.m.	00:30	5,2	303,00	2784,8	4336,19
10:37:32 a.m.	00:30	5,2	299,96	2749,67	4279,79
11:07:32 a.m.	00:30	5,2	295,36	2758,04	4293,227
11:37:32 a.m.	00:30	5,2	294,02	2760,26	4296,791
12:07:32 p.m.	00:30	5,2	38,13	2570,17	3991,608
Total	67:30				631.283,66

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.3.8 Calor por humedad de aire (Qwa)⁷³

$$Q_{wa} = m_{wa} * m_{as} (h_{ga} - h_{wa}) m_{cu} \quad \text{Ecuación 56.}$$

m_{as} : Masa de aire seco (kg Aire/kg Comb)

m_{wa} : Masa de humedad del aire (kg H₂O/kg Aire)

h_{ga} : Entalpía del vapor de aire (kJ/kg)

h_{wa} : Entalpía de la humedad del aire (kJ/kg Aire)

ϕ : Humedad relativa (79%)⁷⁴

T_{bs} : Temperatura de bulbo seco (27,6 °C)⁷⁵

Tiempo de quema: 67,3 horas

⁷³ VERA Duarte, Luis Emilio. Evaluación de las pérdidas de energía en los hornos tipo colmena de tiro invertido en la ladrillera Cúcuta. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingeniería. 2003.

⁷⁴ NASA. Surface meteorology and Solar Energy. [En línea]. Disponible en: < <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=8.14&lon=73.21&submit=Submit> > [Citado el 24 Mayo de 2015]

⁷⁵ Ibid., p. 1.

La humedad relativa y temperatura se tomó a un promedio de (Ver ANEXO C):

$$\begin{aligned} \phi: 70\% & \qquad m_{wa} = 0.0175 \frac{kgH_2O}{kgAireseco} \\ & \qquad \rightarrow \\ T_{bs}: 27,6 \text{ } ^\circ C & \qquad h_{wa} = 71,2 \frac{kJ}{kgAireseco} \end{aligned}$$

La masa de aire seco será:

*
 V_{sd} : Rata de flujo estándar de aire seco
 V_{sd} : Flujo volumétrico estándar de humos

Calculando para la combustión del carbón:

O_o : Oxígeno teórico ($kmol O_2/kgComb$)
 O_{ov} : Oxígeno teórico en volumen ($m^3n O /kg Comb$)
 V_gO_o : Volumen de humos para el oxígeno teórico
 V_gA_o : Volumen de humos de aire teórico
 V_gA_r : Volumen de humos de aire real
 λ : Factor de aire
 M_{om} : Masa de aire teórico ($kgHumos/kgComb$)
 M_{rm} : Masa de aire real ($kgHumos/kgComb$)
 W : Agua, composición Química: 0,029 (Ver tabla)

$$O_{ov} = \left[\frac{C}{12} + \frac{h}{4} + \frac{S-O}{32} \right] * 22,4 \frac{m3.N.O2}{kg.comb.} \quad \text{Ecuación 57.}$$

$$O_{ov} = \left[\frac{0,784}{12} + \frac{0,042}{4} + \frac{0,012 - 0,062}{32} \right] * 22,4 \frac{m3.N.O2}{kg.comb.}$$

$$O_{ov} = 1,663 \frac{m3.N.O2}{kg.comb.}$$

$$V_gO_o = \left[\frac{C}{12} + \frac{h}{3} + \frac{S}{32} + \frac{N}{28} + \frac{W}{18} \right] * 22,4 \frac{m3.N.humos}{kg.comb.} \quad \text{Ecuación 58.}$$

$$VgOo = \left[\frac{0,784}{12} + \frac{0,042}{3} + \frac{0,012}{32} + \frac{0,017}{28} + \frac{0,029}{18} \right] * 22,4 \frac{m3.N.humos}{kg.comb.}$$

$$VgOo = 1,99 \frac{m3.N.humos}{kg.comb.}$$

$$VgAo = [VgOo + VN2] = VgOo + 3,76 * Ov \frac{m3.N.humos}{kg.comb.} \quad \text{Ecuación 59.}$$

$$VgAo = [1,99 + 3,76 * 1,663] \frac{m3.N.humos}{kg.comb.}$$

$$VgAo = 8,24 \frac{m3.N.humos}{kg.comb.}$$

$$VgAr = VgAo + Aov(\lambda - 1) = VgAo + \frac{Ov}{0,21} (\lambda - 1) \frac{m3.n.humos}{kg.comb.} \quad \text{Ecuación 60.}$$

El volumen de gases recomendado en hornos ladrilleros es de:

$$VgAr = 14,75 \frac{m3.N.humos}{kg.comb.} \quad ^{76}$$

Luego el factor de aire se hallara por la ecuación 60, por lo tanto:

$$\lambda = 1 + \frac{(VgAr - VgAo) m3.N.humos}{4,762 * Ov kg.comb.} \quad \text{Ecuación 61.}$$

$$\lambda = 3,27$$

⁷⁶ VERA Duarte, Luis Emilio. Evaluación de las pérdidas de energía en los hornos tipo colmena de tiro invertido en la ladrillera Cúcuta. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingeniería. 2003.

$$M_{om} = \left(\frac{C}{12} + \frac{h}{4} + \frac{S-O}{32} \right) \frac{32}{0.23} \quad \text{Ecuación 62.}$$

$$M_{om} = 10,33 \frac{\text{kgHumos}}{\text{kgComb}}$$

$$M_{rm} = \lambda * M_{om} \quad \text{Ecuación 63.}$$

$$M_{rm} = 3,27 * 10,33$$

$$M_{rm} = 33,8 \frac{\text{kgHumos}}{\text{kgComb}}$$

Remplazando (Ver la tabla 24), tenemos para las primeras temperaturas:

$$Q_{wa} = 33,8 * 0.0175(2587,75 - 71,2) * 5,2$$

$$Q_{wa} = 7,75 * 10^3 \text{ kJ}$$

Tabla 24. Calor por la humedad el aire.

Calor por la humedad el aire					
Masa de aire seco		33,8	Kg humo/kg Comb	Entalpía del vapor	Qwa
Entalpía de la húmeda del aire		83,913	<i>kJ / kg</i>		
Hora de toma	N° de horas	Peso total (kg)	T_4 Temp. Gases (°C)	(KJ/Kg)	(KJ)
04:38:16 p.m.	0	5,2	47,77	2587,75	7754,753
05:08:16 p.m.	00:30	5,2	48,23	2588,8	7757,989
05:38:16 p.m.	00:30	5,2	43,02	2578,88	7727,42
06:08:16 p.m.	00:30	5,2	51,34	2593,66	7772,965
06:38:16 p.m.	00:30	5,2	56,58	2602,85	7801,284
07:08:16 p.m.	00:30	5,2	56,91	2603,42	7803,041
07:38:16 p.m.	00:30	5,2	53,52	2303,62	6879,206
08:08:16 p.m.	00:30	5,2	57,99	2605,3	7808,834
08:38:16 p.m.	00:30	5,2	57,90	2605,15	7808,372
09:08:16 p.m.	00:30	5,2	58,32	2605,88	7810,621
09:38:16 p.m.	00:30	5,2	54,40	2599,04	7789,544
10:08:16 p.m.	00:30	5,2	57,32	2604,14	7805,259

10:38:17 p.m.	00:30	5,2	59,02	2607,09	7814,35
11:08:17 p.m.	00:30	5,2	57,65	2604,71	7807,016
11:38:17 p.m.	00:30	5,2	53,84	2598,06	7786,524
12:08:17 a.m.	00:30	5,2	53,96	2598,27	7787,171
12:38:17 a.m.	00:30	5,2	51,27	2593,54	7772,595
01:08:17 a.m.	00:30	5,2	57,04	2603,65	7803,749
01:38:17 a.m.	00:30	5,2	56,78	2603,2	7802,363
02:08:17 a.m.	00:30	5,2	53,16	2596,86	7782,826
02:38:17 a.m.	00:30	5,2	58,82	2606,82	7813,518
03:08:17 a.m.	00:30	5,2	60,78	2610,16	7823,81
03:38:17 a.m.	00:30	5,2	60,67	2609,97	7823,224
04:08:17 a.m.	00:30	5,2	61,20	2610,89	7826,059
04:38:17 a.m.	00:30	5,2	63,71	2615,26	7839,526
05:08:17 a.m.	00:30	5,2	60,80	2610,19	7823,902
05:38:17 a.m.	00:30	5,2	55,60	2615,1	7839,032
06:08:17 a.m.	00:30	5,2	59,28	2608,55	7818,849
06:38:17 a.m.	00:30	5,2	62,51	2613,17	7833,085
07:08:17 a.m.	00:30	5,2	61,92	2612,14	7829,911
07:38:17 a.m.	00:30	5,2	57,34	2604,22	7805,506
08:08:17 a.m.	00:30	5,2	63,57	2615,01	7838,755
08:38:17 a.m.	00:30	5,2	65,98	2619,19	7851,636
09:08:17 a.m.	00:30	5,2	66,58	2620,22	7854,81
09:38:17 a.m.	00:30	5,2	67,66	2622,08	7860,541
10:08:18 a.m.	00:30	5,2	69,40	2625,07	7869,755
10:38:18 a.m.	00:30	5,2	69,68	2625,55	7871,234
11:08:18 a.m.	00:30	5,2	71,25	2628,23	7879,493
11:38:18 a.m.	00:30	5,2	71,74	2629,06	7882,05
12:08:18 p.m.	00:30	5,2	75,48	2635,41	7901,618
12:38:18 p.m.	00:30	5,2	78,21	2639,99	7915,731
01:08:18 p.m.	00:30	5,2	85,30	2651,89	7952,401
01:38:18 p.m.	00:30	5,2	95,26	2668,02	8002,106
02:08:18 p.m.	00:30	5,2	90,42	2660,27	7978,224
02:38:18 p.m.	00:30	5,2	90,60	2660,56	7979,118
03:08:18 p.m.	00:30	5,2	94,43	2666,69	7998,007
03:38:18 p.m.	00:30	5,2	106,92	2686,36	8058,62
04:08:18 p.m.	00:30	5,2	112,15	2694,33	8083,18
04:38:18 p.m.	00:30	5,2	121,23	2711,35	8135,627
05:08:18 p.m.	00:30	5,2	137,26	2729,88	8192,727
05:38:18 p.m.	00:30	5,2	147,25	2742,55	8231,77
06:08:18 p.m.	00:30	5,2	163,24	2760,93	8288,408
06:38:18 p.m.	00:30	5,2	173,21	2770,98	8319,377

07:08:18 p.m.	00:30	5,2	183,17	2779,86	8346,741
07:38:18 p.m.	00:30	5,2	198,89	2791,29	8381,962
08:08:18 p.m.	00:30	5,2	200,37	2792,21	8384,797
08:38:18 p.m.	00:30	5,2	231,97	2803,02	8418,108
09:08:18 p.m.	00:30	5,2	239,93	2803	8418,047
09:38:19 p.m.	00:30	5,2	249,22	2801,19	8412,469
10:08:19 p.m.	00:30	5,2	265,14	2793,39	8388,433
10:38:19 p.m.	00:30	5,2	293,45	2761,18	8289,178
11:08:19 p.m.	00:30	5,2	288,00	2769,5	8314,816
11:38:19 p.m.	00:30	5,2	299,63	2749,6	8253,494
12:08:19 a.m.	00:30	5,2	302,89	2743,7	8235,314
12:38:19 a.m.	00:30	5,2	313,99	2717,61	8154,917
01:08:19 a.m.	00:30	5,2	324,06	2687,25	8061,363
01:38:19 a.m.	00:30	5,2	327,17	2676,36	8027,805
02:08:19 a.m.	00:30	5,2	326,13	2680,16	8039,515
02:38:19 a.m.	00:30	5,2	329,37	2668,31	8002,999
03:08:19 a.m.	00:30	5,2	330,44	2664,19	7990,303
03:38:19 a.m.	00:30	5,2	331,72	2658,91	7974,033
04:08:19 a.m.	00:30	5,2	341,89	2611,83	7828,956
04:38:19 a.m.	00:30	5,2	354,01	2534,23	7589,831
05:08:19 a.m.	00:30	5,2	376,30	2554,28	7651,616
05:38:19 a.m.	00:30	5,2	381,68	3242,75	9773,137
06:08:19 a.m.	00:30	5,2	389,00	3257,63	9818,99
06:38:19 a.m.	00:30	5,2	381,68	3242,75	9773,137
07:08:19 a.m.	00:30	5,2	394,39	3268,59	9852,763
07:38:19 a.m.	00:30	5,2	429,12	3341,06	10076,08
08:08:19 a.m.	00:30	5,2	453,71	3392,62	10234,96
08:38:19 a.m.	00:30	5,2	468,64	3423,93	10331,44
09:08:20 a.m.	00:30	5,2	489,61	3467,91	10466,97
09:38:20 a.m.	00:30	5,2	507,32	3505,55	10582,96
10:08:20 a.m.	00:30	5,2	548,26	3594,23	10856,22
10:38:20 a.m.	00:30	5,2	559,40	3618,36	10930,58
11:08:20 a.m.	00:30	5,2	567,43	3635,75	10984,17
11:38:20 a.m.	00:30	5,2	577,51	3657,58	11051,44
12:08:20 p.m.	00:30	5,2	584,95	3673,7	11101,11
12:38:20 p.m.	00:30	5,2	589,87	3684,35	11133,93
01:08:20 p.m.	00:30	5,2	589,96	3684,55	11134,54
01:38:20 p.m.	00:30	5,2	589,23	3682,97	11129,68
02:08:20 p.m.	00:30	5,2	588,35	3681,06	11123,79
02:38:20 p.m.	00:30	5,2	591,91	3688,77	11147,55
03:08:20 p.m.	00:30	5,2	595,97	3697,57	11174,67

03:38:20 p.m.	00:30	5,2	599,53	3707,28	11204,59
04:08:20 p.m.	00:30	5,2	608,89	3726,17	11262,8
06:37:30 p.m.	02:30	26,04	616,86	3743,99	56588,55
07:07:30 p.m.	00:30	5,2	610,96	3730,8	11277,06
07:37:30 p.m.	00:30	5,2	627,35	3767,45	11390
08:07:30 p.m.	00:30	5,2	614,11	3737,84	11298,76
08:37:30 p.m.	00:30	5,2	605,56	3718,73	11239,87
09:07:30 p.m.	00:30	5,2	593,78	3692,82	11160,03
09:37:31 p.m.	00:30	5,2	578,30	3659,29	11056,71
10:07:31 p.m.	00:30	5,2	560,94	3621,69	10940,84
10:37:31 p.m.	00:30	5,2	543,15	3583,16	10822,11
11:07:31 p.m.	00:30	5,2	526,88	3547,92	10713,52
11:37:31 p.m.	00:30	5,2	513,07	3518	10621,32
12:07:31 a.m.	00:30	5,2	499,14	3487,89	10528,54
12:37:31 a.m.	00:30	5,2	486,58	3461,55	10447,37
01:07:31 a.m.	00:30	5,2	476,13	3439,64	10379,85
01:37:31 a.m.	00:30	5,2	465,81	3418	10313,17
02:07:31 a.m.	00:30	5,2	455,70	3396,8	10247,84
02:37:31 a.m.	00:30	5,2	446,18	3376,83	10186,3
03:07:31 a.m.	00:30	5,2	436,03	3355,55	10137,03
03:37:31 a.m.	00:30	5,2	425,54	3333,55	10052,94
04:07:31 a.m.	00:30	5,2	414,89	3311,22	9984,128
04:37:31 a.m.	00:30	5,2	400,66	3281,38	9892,176
05:07:31 a.m.	00:30	5,2	386,44	3252,43	9802,966
05:37:31 a.m.	00:30	5,2	374,11	3227,36	9725,713
06:07:31 a.m.	00:30	5,2	362,31	2422,58	7245,782
06:37:31 a.m.	00:30	5,2	350,36	2560,93	7672,108
07:07:31 a.m.	00:30	5,2	338,44	2628,86	7881,434
07:37:31 a.m.	00:30	5,2	336,31	2638,23	7910,308
08:07:31 a.m.	00:30	5,2	325,88	2684,12	8051,718
08:37:31 a.m.	00:30	5,2	317,79	2719,72	8161,419
09:07:31 a.m.	00:30	5,2	310,40	2752,24	8261,63
09:37:32 a.m.	00:30	5,2	306,17	2770,85	8318,976
10:07:32 a.m.	00:30	5,2	303,00	2784,8	8361,963
10:37:32 a.m.	00:30	5,2	299,96	2749,67	8253,71
11:07:32 a.m.	00:30	5,2	295,36	2758,04	8279,502
11:37:32 a.m.	00:30	5,2	294,02	2760,26	8286,343
12:07:32 p.m.	00:30	5,2	38,13	2570,17	7700,581
Total	67:30				1.216.999,95

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.3.9 Calor por inquemados (Q_i)⁷⁷

$$Q_i = m_c * c_e * P_f * P_{cq} \quad \text{Ecuación 64.}$$

c_e : Cenizas residuales (Ver tabla 22).

P_f : Pérdida al fuego (15,8%)⁷⁸

P_{cq} : Poder calorífico del carbón como quemado (kJ/kg).⁷⁹

m_c : masa total de carbón (1500 kg)

Reemplazando se tiene:

$$Q_i = 1500 * 0.54 * 0.158 * 29205,6$$

$$Q_i = 373,77 * 10^3 \text{ kJ}$$

5.3.10 Calor por pared (Q_p)

$$Q_p = U * (\Delta T)t \quad \text{Ecuación 65.}$$

$$R_k = \frac{\text{Ln}\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi kl} \quad \text{Ecuación 66.} \quad ^{80}$$

U : Coeficiente global de transferencia de calor (w/k)

R : Resistencia al flujo de calor del material (ladrillo)

K : conductividad térmica para (0,8 W/m-K ladrillo común)⁸¹

L : Altura del horno (m)

t : Intervalo de tiempo (media hora)

A continuación se realizará un ejemplo del cálculo del calor por la pared y se procede a tabular para encontrar el calor total (Ver tabla 25).

⁷⁷ VERA Duarte, Luis Emilio. Evaluación de las pérdidas de energía en los hornos tipo colmena de tiro invertido en la ladrillera Cúcuta. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingeniería. 2003.

⁷⁸ SERRANO TRILLOS, Carlos. Estudio teórico práctico del proceso de combustión de los hornos de tiro invertido para el Chircal San Luis de Cúcuta. Cúcuta. 1980. 120 p. Trabajo de grado. (Ingeniero Mecánico). Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingenierías. Área de Térmicas.

⁷⁹ Ibid. , 159.

⁸⁰ INCROPERA, Frank P. Fundamentos de la transferencia de calor, 4 ed. México: Prentice Hall, 1999. p. 92

⁸¹ MILIARIUM. Propiedades térmicas de materiales. [En línea]. (2013). Disponible en: < <http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp> > [Citado el 10 de Mayo de 2015]

$$R_k = \frac{\ln\left(\frac{2,6}{2,12}\right)}{2\pi * 0,72 * 4,4}$$

$$R_k = 0,0092 \frac{K}{W}$$

$$U = \frac{1}{0,0055}$$

$$U = 108,36 \frac{W}{K}$$

Para un tiempo de 0,5 horas y la temperatura, $T_{3i} = 101,17^{\circ}C$, $T_{7e} = 63,84^{\circ}C$; el calor perdido será:

$$Q_p = 108,36 * (T_{4i} - T_{4e})t$$

$$Q_p = 7,28 * 10^3 kJ$$

Tabla 25. Calor por Pared.

Calor por pared				
Conductividad		0,8	W/m-K	$r_0: 2,6$ y $r_i: 2,12m$
		Temperaturas		
Hora de toma	Nº de horas	T_{3i} Pared (°C)	T_{7e} Pared (°C)	Qp
04:38:16 p.m.	0	87,39	63,15	(KJ)
05:08:16 p.m.	00:30	101,17	63,84	7281,4841
05:38:16 p.m.	00:30	109,53	65,83	8523,9982
06:08:16 p.m.	00:30	108,87	67,56	8057,8116
06:38:16 p.m.	00:30	126,17	71,99	10568,197
07:08:16 p.m.	00:30	129,11	74,93	10568,197
07:38:16 p.m.	00:30	127,70	75,77	10129,319
08:08:16 p.m.	00:30	135,85	77,20	11440,103
08:38:16 p.m.	00:30	142,63	77,15	12772,343
09:08:16 p.m.	00:30	187,79	77,18	21575,273
09:38:16 p.m.	00:30	228,76	77,18	29566,765
10:08:16 p.m.	00:30	244,60	79,68	32168,828

10:38:17 p.m.	00:30	246,08	82,95	31819,676
11:08:17 p.m.	00:30	254,56	86,60	32761,802
11:38:17 p.m.	00:30	257,25	91,63	32305,368
12:08:17 a.m.	00:30	248,86	97,21	29580,419
12:38:17 a.m.	00:30	250,18	102,69	28768,982
01:08:17 a.m.	00:30	254,06	106,13	28854,807
01:38:17 a.m.	00:30	261,30	109,78	29555,062
02:08:17 a.m.	00:30	265,03	113,44	29568,716
02:38:17 a.m.	00:30	270,48	117,60	29820,34
03:08:17 a.m.	00:30	266,41	119,85	28587,578
03:38:17 a.m.	00:30	266,75	124,20	27805,399
04:08:17 a.m.	00:30	271,74	126,35	28359,362
04:38:17 a.m.	00:30	277,80	128,26	29168,849
05:08:17 a.m.	00:30	285,26	130,11	30263,12
05:38:17 a.m.	00:30	285,95	131,77	30073,914
06:08:17 a.m.	00:30	287,79	133,48	30099,272
06:38:17 a.m.	00:30	286,43	134,83	29570,667
07:08:17 a.m.	00:30	283,48	136,85	28601,232
07:38:17 a.m.	00:30	277,26	138,02	27159,76
08:08:17 a.m.	00:30	271,23	139,16	25761,2
08:38:17 a.m.	00:30	268,64	139,38	25213,089
09:08:17 a.m.	00:30	271,89	139,33	25856,778
09:38:17 a.m.	00:30	271,42	139,44	25743,645
10:08:18 a.m.	00:30	268,82	139,86	25154,572
10:38:18 a.m.	00:30	267,53	140,10	24856,135
11:08:18 a.m.	00:30	272,63	139,61	25946,504
11:38:18 a.m.	00:30	260,48	137,68	23953,02
12:08:18 p.m.	00:30	255,58	136,55	23217,655
12:38:18 p.m.	00:30	250,26	135,59	22367,205
01:08:18 p.m.	00:30	250,15	133,58	22737,814
01:38:18 p.m.	00:30	247,96	132,14	22591,521
02:08:18 p.m.	00:30	238,22	131,14	20886,721
02:38:18 p.m.	00:30	234,48	126,95	20974,497
03:08:18 p.m.	00:30	238,21	123,25	22423,772
03:38:18 p.m.	00:30	228,00	121,01	20869,166
04:08:18 p.m.	00:30	224,16	118,72	20566,828
04:38:18 p.m.	00:30	214,86	118,29	18836,671
05:08:18 p.m.	00:30	215,60	117,40	19154,614
05:38:18 p.m.	00:30	207,93	116,52	17830,176
06:08:18 p.m.	00:30	204,67	114,62	17564,898
06:38:18 p.m.	00:30	202,29	113,93	17235,251

07:08:18 p.m.	00:30	198,81	111,84	16964,122
07:38:18 p.m.	00:30	198,22	110,82	17047,996
08:08:18 p.m.	00:30	194,54	109,69	16550,601
08:38:18 p.m.	00:30	192,79	106,61	16810,027
09:08:18 p.m.	00:30	189,21	102,69	16876,346
09:38:19 p.m.	00:30	186,61	100,87	16724,202
10:08:19 p.m.	00:30	182,63	99,30	16254,114
10:38:19 p.m.	00:30	178,21	97,69	15706,003
11:08:19 p.m.	00:30	175,04	97,40	15144,238
11:38:19 p.m.	00:30	171,64	95,07	14935,527
12:08:19 a.m.	00:30	169,35	93,60	14775,58
12:38:19 a.m.	00:30	165,81	91,65	14465,44
01:08:19 a.m.	00:30	163,79	90,13	14367,911
01:38:19 a.m.	00:30	162,42	88,82	14356,208
02:08:19 a.m.	00:30	161,99	87,97	14438,132
02:38:19 a.m.	00:30	161,31	87,25	14445,934
03:08:19 a.m.	00:30	176,92	85,87	17759,955
03:38:19 a.m.	00:30	284,99	86,47	38722,749
04:08:19 a.m.	00:30	344,65	94,15	48861,82
04:38:19 a.m.	00:30	344,70	106,50	46462,617
05:08:19 a.m.	00:30	347,33	118,02	44728,559
05:38:19 a.m.	00:30	365,32	127,93	46304,621
06:08:19 a.m.	00:30	400,36	137,75	51223,963
06:38:19 a.m.	00:30	420,66	145,73	53627,067
07:08:19 a.m.	00:30	442,97	153,51	56461,248
07:38:19 a.m.	00:30	453,87	161,83	56964,495
08:08:19 a.m.	00:30	452,80	167,96	55560,084
08:38:19 a.m.	00:30	448,64	171,54	54050,341
09:08:20 a.m.	00:30	434,29	173,17	50933,328
09:38:20 a.m.	00:30	424,17	173,04	48984,706
10:08:20 a.m.	00:30	413,48	171,31	47236,994
10:38:20 a.m.	00:30	406,47	171,32	45867,693
11:08:20 a.m.	00:30	398,98	167,86	45081,613
11:38:20 a.m.	00:30	401,28	164,55	46175,883
12:08:20 p.m.	00:30	408,22	163,05	47822,166
12:38:20 p.m.	00:30	431,39	161,47	52649,831
01:08:20 p.m.	00:30	430,02	159,65	52737,606
01:38:20 p.m.	00:30	430,55	160,64	52647,88
02:08:20 p.m.	00:30	420,82	159,79	50915,772
02:38:20 p.m.	00:30	407,06	157,55	48668,714
03:08:20 p.m.	00:30	392,86	153,62	46665,477

03:38:20 p.m.	00:30	378,32	149,42	44648,586
04:08:20 p.m.	00:30	354,51	144,68	40928,845
06:37:30 p.m.	02:30	295,75	128,38	163233,59
07:07:30 p.m.	00:30	279,61	124,74	30208,504
07:37:30 p.m.	00:30	267,07	119,53	28778,734
08:07:30 p.m.	00:30	256,00	115,46	27413,334
08:37:30 p.m.	00:30	245,70	111,47	26182,524
09:07:30 p.m.	00:30	234,49	107,54	24762,507
09:37:31 p.m.	00:30	226,53	104,15	23871,096
10:07:31 p.m.	00:30	219,54	100,68	23184,495
10:37:31 p.m.	00:30	205,14	97,51	20994,003
11:07:31 p.m.	00:30	198,21	94,46	20237,181
11:37:31 p.m.	00:30	193,94	91,83	19917,287
12:07:31 a.m.	00:30	185,72	89,01	18863,979
12:37:31 a.m.	00:30	179,65	86,37	18194,933
01:07:31 a.m.	00:30	173,90	84,17	17502,48
01:37:31 a.m.	00:30	170,89	81,94	17350,335
02:07:31 a.m.	00:30	167,52	79,69	17131,871
02:37:31 a.m.	00:30	158,55	77,54	15801,581
03:07:31 a.m.	00:30	153,22	75,87	15087,672
03:37:31 a.m.	00:30	148,31	73,55	14582,474
04:07:31 a.m.	00:30	142,20	71,26	13837,355
04:37:31 a.m.	00:30	133,77	68,95	12643,606
05:07:31 a.m.	00:30	124,61	66,05	11422,548
05:37:31 a.m.	00:30	120,00	64,16	10891,992
06:07:31 a.m.	00:30	114,16	62,18	10139,072
06:37:31 a.m.	00:30	111,83	59,65	10178,083
07:07:31 a.m.	00:30	107,35	58,93	9444,6681
07:37:31 a.m.	00:30	110,22	59,83	9828,9307
08:07:31 a.m.	00:30	113,62	60,23	10414,102
08:37:31 a.m.	00:30	114,72	61,71	10339,98
09:07:31 a.m.	00:30	112,93	62,74	9789,9192
09:37:32 a.m.	00:30	112,98	63,68	9616,3184
10:07:32 a.m.	00:30	113,40	63,48	9737,2538
10:37:32 a.m.	00:30	113,75	63,14	9871,8432
11:07:32 a.m.	00:30	109,95	62,28	9298,3752
11:37:32 a.m.	00:30	110,05	60,36	9692,3907
12:07:32 p.m.	00:30	39,52	30,60	1739,9099
Total	67:30			3.469.858,3

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.3.11 Calor por los humos (Qh)

$$Q_h = m_{as} * C_p * \Delta T \quad \text{Ecuación 65.}$$

C_g : Calor específico de los gases de escape ($kJ/(kg \cdot K)$) (ver tabla 26).

ΔT : Diferencia de temperatura entre los gases de escape y el medio ambiente

$$C_g = 0.23 + 0.00005 * T_{gi}^{82} \quad \text{Ecuación 67.}$$

$$\dot{P}_g = C_c * P_{gu} \quad \text{Ecuación 68.}$$

\dot{P}_g : Peso de los gases producidos en la unidad de tiempo (kg/h)

C_c : Consumo de carbón (kg/h)

$P_{gu} \cdot M_{rm}$: kg de gases producidos por kg de carbón

El peso de los humos producidos por un kilogramo de carbón en unidad de tiempo será:

De la ecuación 68.

$$\dot{P}_g = 5,2 \frac{kg}{h} * 33,8 \frac{kgHumos}{kgCarbón}$$

$$\dot{P}_g = 176,08 \frac{kgHumos}{h}$$

$$P_g = \dot{P}_g * t \quad \text{Ecuación 69.}$$

$$P_g = 176,08 * 0,5$$

$$P_g = 88,04Kg \text{ De humos}$$

Luego se reemplaza en la ecuación 65, para $T_{4i}=48,23 \text{ } ^\circ C$ y $T_{8e}=20,3 \text{ } ^\circ C$ (Ver tabla 26.)

⁸² SERRANO TRILLOS, Carlos. Estudio teórico práctico del proceso de combustión de los hornos de tiro invertido para el Chircal San Luis de Cúcuta. Cúcuta. 1980. 120 p. Trabajo de grado. (Ingeniero Mecánico). Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingenierías. Áreas Térmicas.

$$Q_h = 88,04 * 0,23241(48,23 - 20,3)$$

$$Q_h = 571,5kJ$$

Tabla 26. Perdidas por humos.

Calor por Humos						
Hora de toma	N° de horas	Temperaturas			Calor específico (kJ/kg-K)	Q _h
		Peso total (kg)	T _{di} Pared (°C)	T _{se} Pared (°C)		
04:38:16 p.m.	0	5,2	47,77	20,65	0,23239	(kJ)
05:08:16 p.m.	00:30	5,2	48,23	20,30	0,23241	571,509
05:38:16 p.m.	00:30	5,2	43,02	20,13	0,23215	467,854
06:08:16 p.m.	00:30	5,2	51,34	20,14	0,23257	638,847
06:38:16 p.m.	00:30	5,2	56,58	20,14	0,23283	746,981
07:08:16 p.m.	00:30	5,2	56,91	20,00	0,23285	756,67
07:38:16 p.m.	00:30	5,2	53,52	19,72	0,23268	692,409
08:08:16 p.m.	00:30	5,2	57,99	19,91	0,2329	780,836
08:38:16 p.m.	00:30	5,2	57,90	19,94	0,2329	778,36
09:08:16 p.m.	00:30	5,2	58,32	19,71	0,23292	791,76
09:38:16 p.m.	00:30	5,2	54,40	19,53	0,23272	714,463
10:08:16 p.m.	00:30	5,2	57,32	19,47	0,23287	776,008
10:38:17 p.m.	00:30	5,2	59,02	18,95	0,23295	821,823
11:08:17 p.m.	00:30	5,2	57,65	18,77	0,23288	797,182
11:38:17 p.m.	00:30	5,2	53,84	18,75	0,23269	718,885
12:08:17 a.m.	00:30	5,2	53,96	18,83	0,2327	719,723
12:38:17 a.m.	00:30	5,2	51,27	18,96	0,23256	661,566
01:08:17 a.m.	00:30	5,2	57,04	18,72	0,23285	785,597
01:38:17 a.m.	00:30	5,2	56,78	18,51	0,23284	784,528
02:08:17 a.m.	00:30	5,2	53,16	18,82	0,23266	703,417
02:38:17 a.m.	00:30	5,2	58,82	18,74	0,23294	821,993
03:08:17 a.m.	00:30	5,2	60,78	18,52	0,23304	867,067
03:38:17 a.m.	00:30	5,2	60,67	18,58	0,23303	863,558
04:08:17 a.m.	00:30	5,2	61,20	18,64	0,23306	873,301
04:38:17 a.m.	00:30	5,2	63,71	18,45	0,23319	929,203
05:08:17 a.m.	00:30	5,2	60,80	18,64	0,23304	865,019
05:38:17 a.m.	00:30	5,2	55,60	18,51	0,23278	760,146
06:08:17 a.m.	00:30	5,2	59,28	18,64	0,23296	833,56
06:38:17 a.m.	00:30	5,2	62,51	18,87	0,23313	895,713

07:08:17 a.m.	00:30	5,2	61,92	20,11	0,2331	858,044
07:38:17 a.m.	00:30	5,2	57,34	20,53	0,23287	754,689
08:08:17 a.m.	00:30	5,2	63,57	21,51	0,23318	863,48
08:38:17 a.m.	00:30	5,2	65,98	21,58	0,2333	911,99
09:08:17 a.m.	00:30	5,2	66,58	22,71	0,23333	901,22
09:38:17 a.m.	00:30	5,2	67,66	23,52	0,23338	906,976
10:08:18 a.m.	00:30	5,2	69,40	25,00	0,23347	912,659
10:38:18 a.m.	00:30	5,2	69,68	24,68	0,23348	925,047
11:08:18 a.m.	00:30	5,2	71,25	26,24	0,23356	925,564
11:38:18 a.m.	00:30	5,2	71,74	27,13	0,23359	917,435
12:08:18 p.m.	00:30	5,2	75,48	28,23	0,23377	972,506
12:38:18 p.m.	00:30	5,2	78,21	28,33	0,23391	1027,24
01:08:18 p.m.	00:30	5,2	85,30	31,39	0,23427	1111,91
01:38:18 p.m.	00:30	5,2	95,26	24,65	0,23476	1459,45
02:08:18 p.m.	00:30	5,2	90,42	24,13	0,23452	1368,75
02:38:18 p.m.	00:30	5,2	90,60	22,00	0,23453	1416,5
03:08:18 p.m.	00:30	5,2	94,43	20,81	0,23472	1521,4
03:38:18 p.m.	00:30	5,2	106,92	21,25	0,23535	1775,13
04:08:18 p.m.	00:30	5,2	112,15	21,09	0,23561	1888,91
04:38:18 p.m.	00:30	5,2	121,23	21,83	0,23606	2065,88
05:08:18 p.m.	00:30	5,2	137,26	21,78	0,23686	2408,23
05:38:18 p.m.	00:30	5,2	147,25	21,61	0,23736	2625,64
06:08:18 p.m.	00:30	5,2	163,24	21,25	0,23816	2977,31
06:38:18 p.m.	00:30	5,2	173,21	21,41	0,23866	3189,68
07:08:18 p.m.	00:30	5,2	183,17	20,91	0,23916	3416,58
07:38:18 p.m.	00:30	5,2	198,89	21,00	0,23994	3758
08:08:18 p.m.	00:30	5,2	200,37	20,62	0,24002	3798,46
08:38:18 p.m.	00:30	5,2	231,97	20,29	0,2416	4502,65
09:08:18 p.m.	00:30	5,2	239,93	19,43	0,242	4697,99
09:38:19 p.m.	00:30	5,2	249,22	18,79	0,24246	4918,98
10:08:19 p.m.	00:30	5,2	265,14	18,83	0,24326	5275,23
10:38:19 p.m.	00:30	5,2	293,45	18,62	0,24467	5920,3
11:08:19 p.m.	00:30	5,2	288,00	18,97	0,2444	5788,9
11:38:19 p.m.	00:30	5,2	299,63	18,45	0,24498	6064,74
12:08:19 a.m.	00:30	5,2	302,89	18,34	0,24514	6141,51
12:38:19 a.m.	00:30	5,2	313,99	18,13	0,2457	6400,07
01:08:19 a.m.	00:30	5,2	324,06	18,31	0,2462	6627,57
01:38:19 a.m.	00:30	5,2	327,17	18,13	0,24636	6703,11
02:08:19 a.m.	00:30	5,2	326,13	18,03	0,24631	6681,32
02:38:19 a.m.	00:30	5,2	329,37	18,22	0,24647	6751,89
03:08:19 a.m.	00:30	5,2	330,44	18,36	0,24652	6773,54

03:38:19 a.m.	00:30	5,2	331,72	18,20	0,24659	6806,57
04:08:19 a.m.	00:30	5,2	341,89	18,19	0,24709	7042,07
04:38:19 a.m.	00:30	5,2	354,01	18,17	0,2477	7324,09
05:08:19 a.m.	00:30	5,2	376,30	17,90	0,24882	7851,25
05:38:19 a.m.	00:30	5,2	381,68	18,02	0,24908	7975,09
06:08:19 a.m.	00:30	5,2	389,00	18,43	0,24945	8138,57
06:38:19 a.m.	00:30	5,2	381,68	18,25	0,24908	7970,05
07:08:19 a.m.	00:30	5,2	394,39	18,77	0,24972	8258,39
07:38:19 a.m.	00:30	5,2	429,12	19,15	0,25146	9076,29
08:08:19 a.m.	00:30	5,2	453,71	19,34	0,25269	9663,5
08:38:19 a.m.	00:30	5,2	468,64	20,08	0,25343	10008,7
09:08:20 a.m.	00:30	5,2	489,61	21,94	0,25448	10478,2
09:38:20 a.m.	00:30	5,2	507,32	23,51	0,25537	10877,6
10:08:20 a.m.	00:30	5,2	548,26	23,37	0,25741	11895,8
10:38:20 a.m.	00:30	5,2	559,40	24,98	0,25797	12138
11:08:20 a.m.	00:30	5,2	567,43	25,85	0,25837	12319,7
11:38:20 a.m.	00:30	5,2	577,51	27,64	0,25888	12532,7
12:08:20 p.m.	00:30	5,2	584,95	27,85	0,25925	12715,8
12:38:20 p.m.	00:30	5,2	589,87	26,58	0,25949	12869,2
01:08:20 p.m.	00:30	5,2	589,96	27,37	0,2595	12853,5
01:38:20 p.m.	00:30	5,2	589,23	28,86	0,25946	12800,9
02:08:20 p.m.	00:30	5,2	588,35	28,46	0,25942	12787,8
02:38:20 p.m.	00:30	5,2	591,91	28,55	0,2596	12875,9
03:08:20 p.m.	00:30	5,2	595,97	28,26	0,2598	12985,5
03:38:20 p.m.	00:30	5,2	599,53	23,00	0,25998	13196,2
04:08:20 p.m.	00:30	5,2	608,89	23,12	0,26044	13431,9
06:37:30 p.m.	02:30	26,04	616,86	21,69	0,26084	341708
07:07:30 p.m.	00:30	5,2	610,96	20,96	0,26055	13534,2
07:37:30 p.m.	00:30	5,2	627,35	20,47	0,26137	13965,3
08:07:30 p.m.	00:30	5,2	614,11	20,10	0,26071	13634,5
08:37:30 p.m.	00:30	5,2	605,56	19,44	0,26028	13431,3
09:07:30 p.m.	00:30	5,2	593,78	19,39	0,25969	13132,7
09:37:31 p.m.	00:30	5,2	578,30	19,39	0,25892	12740,7
10:07:31 p.m.	00:30	5,2	560,94	19,13	0,25805	12309,5
10:37:31 p.m.	00:30	5,2	543,15	18,72	0,25716	11873,6
11:07:31 p.m.	00:30	5,2	526,88	18,57	0,25634	11472,2
11:37:31 p.m.	00:30	5,2	513,07	18,20	0,25565	11138,8
12:07:31 a.m.	00:30	5,2	499,14	17,59	0,25496	10809,4
12:37:31 a.m.	00:30	5,2	486,58	17,88	0,25433	10495,1
01:07:31 a.m.	00:30	5,2	476,13	17,33	0,25381	10252,3
01:37:31 a.m.	00:30	5,2	465,81	17,11	0,25329	10006,2

02:07:31 a.m.	00:30	5,2	455,70	16,96	0,25279	9764,57
02:37:31 a.m.	00:30	5,2	446,18	17,14	0,25231	9530,7
03:07:31 a.m.	00:30	5,2	436,03	16,96	0,2518	9290,5
03:37:31 a.m.	00:30	5,2	425,54	17,09	0,25128	9036,2
04:07:31 a.m.	00:30	5,2	414,89	16,94	0,25074	8785,25
04:37:31 a.m.	00:30	5,2	400,66	17,02	0,25003	8445,31
05:07:31 a.m.	00:30	5,2	386,44	16,88	0,24932	8112,22
05:37:31 a.m.	00:30	5,2	374,11	16,79	0,24871	7824,15
06:07:31 a.m.	00:30	5,2	362,31	17,04	0,24812	7542,36
06:37:31 a.m.	00:30	5,2	350,36	17,14	0,24752	7261,6
07:07:31 a.m.	00:30	5,2	338,44	17,84	0,24692	6969,76
07:37:31 a.m.	00:30	5,2	336,31	19,24	0,24682	6890,04
08:07:31 a.m.	00:30	5,2	325,88	20,68	0,24629	6618,09
08:37:31 a.m.	00:30	5,2	317,79	21,43	0,24589	6415,85
09:07:31 a.m.	00:30	5,2	310,40	23,23	0,24552	6207,55
09:37:32 a.m.	00:30	5,2	306,17	24,43	0,24531	6084,93
10:07:32 a.m.	00:30	5,2	303,00	24,59	0,24515	6009,12
10:37:32 a.m.	00:30	5,2	299,96	26,02	0,245	5908,98
11:07:32 a.m.	00:30	5,2	295,36	26,90	0,24477	5785,34
11:37:32 a.m.	00:30	5,2	294,02	26,57	0,2447	5761,99
12:07:32 p.m.	00:30	5,2	38,13	29,17	0,23191	182,943
Total	67:30					1.086.128,55

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.3.12 Pérdidas intangibles (Q_{in})

$$Q_{in} = Q_H - Q_T \quad \text{Ecuación 70.}$$

$$Q_{in} = (62,92 - 44,87) * 10^6$$

$$Q_{in} = 18,04 * 10^6 \text{ kJ}$$

Tabla 27. Balance Termodinámico del Horno Circular.

Descripción	(kJ)	Porcentaje (%)
Calor de entrada	62.920.995	100
Acumulación de calor en mampostería	3.475.910,925	5,52
Calor por carga del material a coser	14.030.638,626	22,30
Calor por sacar la humedad del material	4.023.334,899	6,39
Calor por descomposición química de la arcilla	99.587,122	0,16
Calor por humedad del carbón	16.467.708,174	26,17
Calor por agua de combustión	631.283,657	1,00
Calor por humedad de aire	1.216.999,949	1,93
Calor por inquemados	373.773,269	0,59
Calor por pared	3.469.858,299	5,51
Calor por los humos	1.086.128,548	1,73
Cantidad de calor total.	44.875.223,467	71,32
Calor por intangibles	18.045.771,533	28,68
Total	62.920.995	100

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.3.13 Rendimiento del horno

Este se determinara por:

5.3.13.1 Por el calor real utilizado para la cocción del material

$$\eta = \frac{Q_{cm} + Q_{wm} + Q_{dq}}{QT} * 100 \quad \text{Ecuación 71.}$$

$$\eta = \frac{14,03 * 10^6 + 4,02 * 10^6 + 99,58 * 10^3}{62,92 * 10^6} * 100$$

$$\eta = 28,85\%$$

5.3.13.2 Por cantidad de material cocido

$\eta = QT / \text{Peso del material}$ **Ecuación 72.**

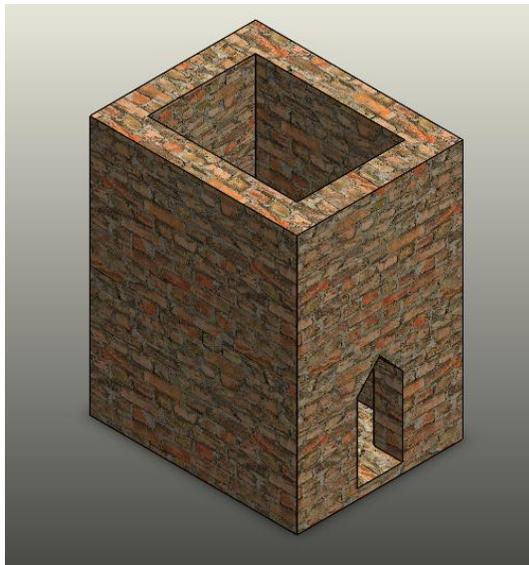
$$\eta = \frac{62,92 * 10^6 kJ}{19405kg}$$

$\eta = 3242,51 kJ/kg$ Del material

5.4 EVALUACIÓN DE LA ENERGÍA EN EL HORNO CUADRADO⁸³

El balance energético en el horno el estanco cerca a la vía circunvalar, consiste en determinar si la energía suministrada al proceso se cocción es igual a la que sale del el, ya en este tipo de ladrilleras todo el proceso de producción es artesanal, lo cual lleva a desmejorar las características finales del bloque, principalmente este horno está dedicado a la producción de bloque común y ladrillo H-10 para la comercialización en las zonas aledañas de la provincia de Ocaña. Además se utiliza carbón mineral para la cocción del producto, en este caso el consumo total de carbón promedio es de 800 kg para la producción de 2200 bloques, esto puede variar dependiendo las dimensiones de horno y propiedades del carbón.

Figura 86. Horno Cuadrado.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Los flujos de energía durante el proceso de cocción para el horno será el siguiente:

$$Q_T = Q_o + Q_{cm} + Q_{wm} + Q_{dq} + Q_{wc} + Q_{ac} + Q_{wa} + Q_i + Q_p + Q_h \quad \text{Ecuación 73.}$$

Q_T : Cantidad de calor total

Q_o : Acumulación de calor en mampostería

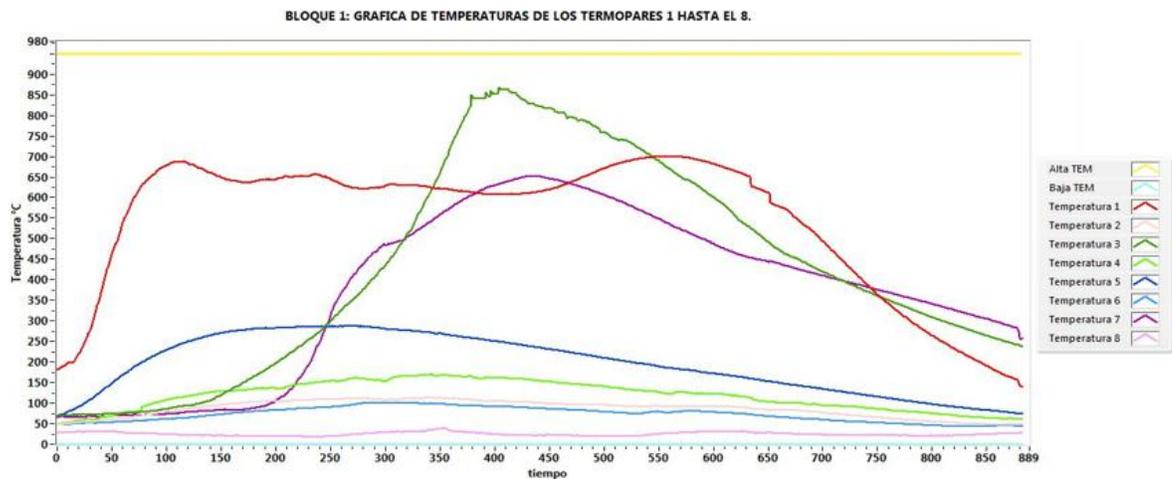
Q_{cm} : Calor por carga del material a coser

Q_{wm} : Calor para sacar la humedad del material

⁸³ MENESES, Calderón. JOSÉ Agustín. Evaluación de las Perdidas de Energía en los Hornos tipo Colmena de Tiro Invertido. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingeniería. Plan de estudios de Ingeniería Mecánica San José de Cúcuta. 2003.

Q_{dq} : Calor necesario para la descomposición química de arcilla
 Q_{wc} : Calor por humedad de carbón
 Q_{ac} : Calor por agua formada en la combustión
 Q_{wa} : Calor por humedad de aire
 Q_i : Calor por inquemados
 Q_p : Calor por pared
 Q_h : Calor por humos

Figura 87 .Perfiles del horno Cuadrado.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.4.1 Calor de entrada (Q_t)

$$Q_H = P_c * m_c \quad \text{Ecuación 74.}$$

Q_H : Calor de entrada (kJ)

P_c : Poder calorífico (kJ/kg)⁸⁴

m_c : masa de carbón consumida (kg)⁸⁵

Reemplazado obtenemos:

$$Q_H = 41947,33 * 800$$

$$Q_H = 33,557 * 10^6 \text{ kJ}$$

⁸⁴ VEGA, Mohalem, Anderson & YOLIAN Cortes Díaz. Aprovechamiento de los gases generados por el horno Hoffman para mejorar la zona de secado en la ladrillera Ocaña. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Ingeniería mecánica. Ocaña. 2014

⁸⁵ Ladrillera el Estanco. Ocaña. 2015

5.4.2 Acumulación de calor en mampostería (Q_0)

$$Q_o = V_o * \gamma_o * C_o * T_m \quad \text{Ecuación 75.}$$

V_o : Volumen del horno (m^3)

γ_o : Peso específico del ladrillo del horno ($1450\text{kg}/m^3$)⁸⁶

C_o : Calor específico del ladrillo del horno ($0,79\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$)⁸⁷

T_m : Temperatura media en los puntos de medición ($^{\circ}\text{C}$)

Q_{co} : Calor de la cúpula acumulado (kJ)

Q_{pio} : Calor de la pared acumulado (kJ)

$$Q_o = Q_{po} + Q_{pio} \quad \text{Ecuación 76.}$$

El calor en mampostería será:

$$Q_o = \gamma_o C_o \{ (V_p * T_{mp}) + (V_{pi} * T_{mpi}) \} \quad \text{Ecuación 77.}$$

T_{mp} : Temperatura media de la pared ($^{\circ}\text{C}$)

T_{mpi} : Temperatura media del piso ($^{\circ}\text{C}$)

V_{pi} : Volumen del piso (m^3)

V_p : Volumen de la pared (m^3)

Se tomarán las temperaturas máximas durante la prueba para el estudio.

$$T_m = \frac{T_i + T_e}{2} \quad \text{Ecuación 78.}$$

Tabla 28. Temperatura media de los puntos de medición.

PUNTO DE MEDICIÓN	Temp. Inte. $^{\circ}\text{C}$	Temp. Ext. $^{\circ}\text{C}$	Temp. Media (K)
T_{mp} : Temperatura media de la pared	286,92	100,9	466,91
T_{mpi} : Temperatura media del piso	874,18	169,43	794,8
T_{mi} : Temperatura media interior	687,18	112,7	672,94
T_{mg} : Temperatura media de los gases	651,95	36,4	617,17
T_0 : Temperatura inicial (Materiales)	36 $^{\circ}\text{C}$		309

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

⁸⁶ MENESES, Calderón. JOSÉ Agustín. Evaluación de las Perdidas de Energía en los Hornos tipo Colmena de Tiro Invertido. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingeniería. Plan de estudios de Ingeniería Mecánica San José de Cúcuta. 2003.

⁸⁷ CENGEL, Yunus A. Termodinámica. 6 ed. México: Mc Graw-Hill, 2009. 909 p.

Volumen de la pared, a este volumen le restaremos los volúmenes de la puerta.

$$V_p = \{2(l * h * t_p) + 2(a_i * h * t_p)\} - V_{pu} \text{ Ecuación 79.}$$

l : largo del horno (2,5 m)

a_e : Ancho del horno (2m)

a_i : Ancho interior del horno (1,3 m)

h : Altura del horno (2,88 m)

t_p : Espesor de la pared (0,35 m)

V_{pu} : Volumen de la puerta

Ancho de la puerta (0,55m)

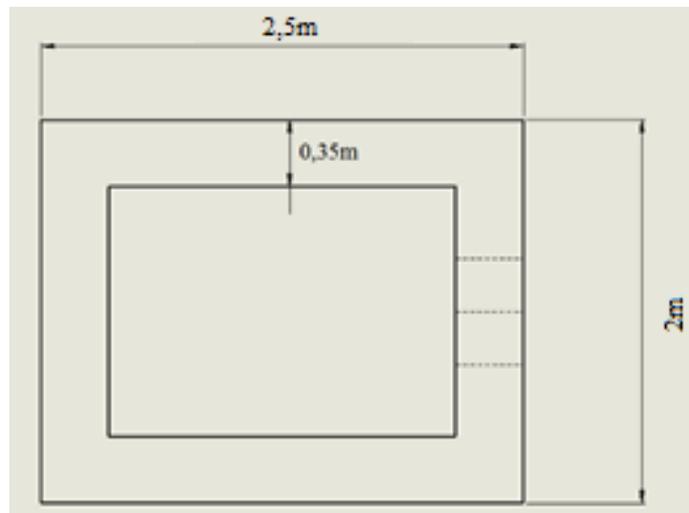
Alto de la Puerta (1,25m)

Lado a de la sección triangular (0,4m)

Lado b de la sección triangular (0,55m)

Área de la sección triangular (0,079 m²)⁸⁸

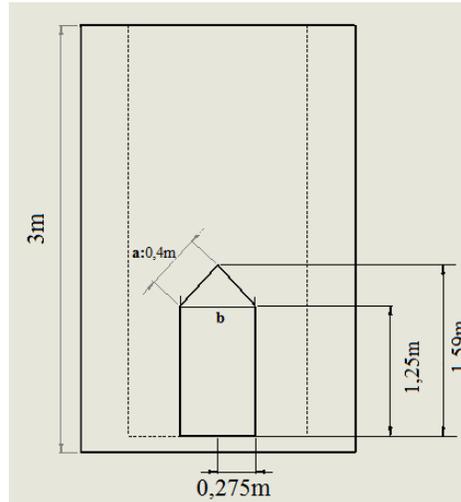
Figura 88. Vista superior del horno.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

⁸⁸ UNIVERSO DE LAS FORMULAS. En línea]. Disponible en:
<http://www.redalyc.org/pdf/530/53050901.pdf> [Citado el 12 de febrero de 2015]

Figura 89. Vista frontal del horno.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

El volumen por pared será:

$$V_p = \{2(2,5 * 2,88 * 0,35) - 2(1,3 * 2,88 * 0,35)\} - ((0,55 * 1,25 * 0,35) + (0,079 * 0,35))$$

$$V_p = 7,39m^3$$

El volumen del piso será:

T_{pi} : Espesor del piso (0,12m)

$$V_p = l * ae * tp \text{ Ecuación 80.}$$

$$V_p = 2,5 * 2 * 0,12$$

$$V_p = 0,6 m^3$$

Reemplazando en la ecuación 77, la acumulación de calor será:

$$Q_o = 1922 * 0,79 \{ (7,39 * (466,91 - 309)) + (0,6 * (794,8 - 309)) \}$$

$$Q_o = 2,21 * 10^6 kJ$$

5.4.3 Calor por carga del material a coser (Qcm)

$$Q_{cm} = m_{se} * C_{om} * (T_{max} - T_{mi}) \quad \text{Ecuación 81.}$$

m_{se} : Masa seca de la carga (kg)

C_{om} : Calor específico del material (kJ/kg-K)

T_{max} : Temperatura Máxima de los materiales (687,18 °C)

T_{mi} : Temperatura de entrada de los materiales (36°C)

$$m_{se} = (1 - y_m) m_t \quad \text{Ecuación 82.}$$

m_t : Masa total de carga (kg)

y_m : Humedad del material (8%)⁸⁹

En el cuadro siguiente se encuentran los pesos promedios de cada uno de los productos al momento de ingresar y salir del horno. (Ver Tabla 29).

Tabla 29. Peso promedio de cada uno de los productos.

Ítem	Tipo del material	Cantidad	Peso promedio (kg) con y_m	Peso total (kg)	Peso cocido (kg)	% perdida	Peso total cocido
1	Bloque normal	1700	3,27	5559	2,87	13,93	4879
2	Ladrillo H-10	500	7,54	3770	7,14	5,6	3570
		2200	Peso total de carga	9329	Humedad química:0,024		8449

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

$$m_{se} = (1 - 0,08) * 9329$$

$$m_{se} = 8582,68 \text{ kg}$$

Reemplazando en la ecuación 81, el calor será:

$$Q_{cm} = 8582,68 * 0,79 * (687,17 - 36)$$

$$Q_{cm} = 4,41 * 10^6 \text{ kJ}$$

⁸⁹ MENESES, Calderón. JOSÉ Agustín. Evaluación de las Perdidas de Energía en los Hornos tipo Colmena de Tiro Invertido. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingeniería. Plan de estudios de Ingeniería Mecánica San José de Cúcuta. 2003.

5.4.4 Calor para sacar la humedad del material (Q_{wm})

$$Q_{wm} = m_t y_m (h_g - u_m) \quad \text{Ecuación 83.}$$

h_g : Entalpía de los gases (kJ/kg)⁹⁰

u_m : Energía interna del material (kJ/kg)⁹¹

Como el agua se evapora a los 100 °C, se tomará la entalpía de los gases y la energía interna del material a 20°C.

$$Q_{wm} = 9329 * 0.08(2675,6 - 83,913)$$

$$Q_{wm} = 1,93 * 10^6 \text{ kJ}$$

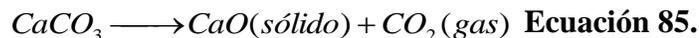
5.4.5 Calor necesario para la descomposición química de la arcilla (Q_{dq})⁹²

Es el calor considerado para la descomposición química de los carbonatos (CaCO₃) y la evaporación del agua combinada presentes en la arcilla. Se da por:

$$Q_{dq} = m_{se} * (C_{dqCaCO_3} + C_{dqagua}) \quad \text{Ecuación 84.}$$

Se considera una pérdida de peso de los productos durante el proceso de cocción y descontando la humedad con la que entra al horno (8%), queda una pérdida de peso promedio del 2,4% (Ver tabla 29), que se considera el peso perdido por la descomposición del CaCO₃ y por la evaporación del agua combinada.

El CaCO₃ se descompone en:



Esta descomposición se produce sobre la zona de cocción a entre 600 y 800 °C, el calor de reacción es de 607.2 kJ/kg de CO₂ producido, tomada a 600 °C⁹³. La cantidad de carbonatos en las arcillas de la zona es de trazas, por lo tanto este CO₂ producido es despreciable, lo que indica que la pérdida de peso del material se debe al agua combinada este es de 2,4 %, y la energía necesaria para este proceso es de (3705,0 – 83,95) kJ/kg agua, tomada a 600 °C⁹⁴

⁹⁰ CENGEL, Yunus A. Termodinámica. 6 ed. México: Mc Graw-Hill, 2009. 910 p.

⁹¹ Ibid., p. 910.

⁹² VERA Duarte, Luis Emilio. Evaluación de las pérdidas de energía en los hornos tipo colmena de tiro invertido en la ladrillera Cúcuta. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingeniería. 2003.

⁹³ British Estándar Test Code, Normas para el cálculo del balance térmico en hornos de ladrillo.

⁹⁴ Ibid., p. 16.

$$Q_{dq} = 8582,68 * 0,024(3705 - 83,95)$$

$$Q_{dq} = 750,67 * 10^3 kJ$$

5.4.6 Calor por humedad del carbón (Qwc)

$$Q_{wc} = m_c y_c (h_g - u_c) \quad \text{Ecuación 86.}$$

m_c : Masa del carbón total (kg)

y_c : Humedad del carbón (2,9%)⁹⁵

u_c : Energía interna del carbón (kJ/kg) a 20 °C

h_g : Entalpía del vapor de agua a la temperatura de los gases de la chimenea (kJ/kg)

Se realizó un cálculo de ejemplo (véase en la tabla 30).

$$Q_{wc} = 800 * 0,29(2619,34 - 83,913)$$

$$Q_{wc} = 58,82 * 10^3 kJ$$

Tabla 30. Calor por la humedad del carbón.

Calor por humedad de carbón					
Humedad del carbón		0,29	%	Entalpía del vapor	Qwc
Energía inter. del agua		83,913	kJ/kg		
Hora de toma	N° de horas	Peso total (kg)	T ₄ Temp. Gases (°C)	(KJ/Kg)	(KJ)
09:47:24 a.m.	0	4,18	66,06	2619,34	58821,906
10:17:24 a.m.	00:30	4,18	66,75	2620,53	58849,514
10:47:24 a.m.	00:30	4,18	67,15	2621,21	58865,29
11:17:24 a.m.	00:30	4,18	67,58	2621,95	58882,458
11:47:24 a.m.	00:30	4,18	66,49	2620,08	58839,074
12:17:24 p.m.	00:30	4,18	67,42	2621,68	58876,194
12:47:24 p.m.	00:30	4,18	68,78	2624,01	58930,25
01:17:24 p.m.	00:30	4,18	64,39	2616,46	58755,09
01:47:24 p.m.	00:30	4,18	65,40	2618,2	58795,458
02:17:24 p.m.	00:30	4,18	68,64	2623,77	58924,682
02:47:24 p.m.	00:30	4,18	69,96	2626,03	58977,114
03:17:24 p.m.	00:30	4,18	70,25	2626,53	58988,714
03:47:24 p.m.	00:30	4,18	70,77	2627,41	59009,13
04:17:24 p.m.	00:30	4,18	70,23	2626,49	58987,786

⁹⁵ Ladrillera Cúcuta.

04:47:24 p.m.	00:30	4,18	71,14	2628,05	59023,978
05:17:24 p.m.	00:30	4,18	71,22	2628,18	59026,994
05:47:25 p.m.	00:30	4,18	72,19	2629,83	59065,274
06:17:25 p.m.	00:30	4,18	73,01	2631,23	59097,754
06:47:25 p.m.	00:30	4,18	74,08	2633,04	59139,746
07:17:25 p.m.	00:30	4,18	75,11	2634,79	59180,346
07:47:25 p.m.	00:30	4,18	77,73	2639,21	59282,89
08:17:25 p.m.	00:30	4,18	78,95	2641,26	59330,45
08:47:25 p.m.	00:30	4,18	79,75	2642,6	59361,538
09:17:25 p.m.	00:30	4,18	80,58	2643,98	59393,554
09:47:25 p.m.	00:30	4,18	81,20	2645,02	59417,682
10:17:25 p.m.	00:30	4,18	82,22	2646,72	59457,122
10:47:25 p.m.	00:30	4,18	84,63	2650,71	59549,69
11:17:25 p.m.	00:30	4,18	81,91	2646,2	59445,058
11:47:25 p.m.	00:30	4,18	82,83	2647,73	59480,554
12:17:25 a.m.	00:30	4,18	84,51	2650,52	59545,282
12:47:25 a.m.	00:30	4,18	86,33	2653,52	59614,882
01:17:25 a.m.	00:30	4,18	88,42	2656,95	59694,458
01:47:25 a.m.	00:30	4,18	92,47	2663,54	59847,346
02:17:25 a.m.	00:30	4,18	98,40	2673,04	60067,746
02:47:25 a.m.	00:30	4,18	107,93	2687,91	60412,73
03:17:25 a.m.	00:30	4,18	117,93	2702,91	60760,73
03:47:25 a.m.	00:30	4,18	131,83	2722,59	61217,306
04:17:25 a.m.	00:30	4,18	150,88	2746,97	61782,922
04:47:25 a.m.	00:30	4,18	172,46	2770,3	62324,178
05:17:26 a.m.	00:30	4,18	197,37	2790,42	62790,962
05:47:26 a.m.	00:30	4,18	232,71	2803,22	63087,922
06:17:26 a.m.	00:30	4,18	267,96	2791,33	62812,074
06:47:26 a.m.	00:30	4,18	305,74	2737,76	61569,25
07:17:26 a.m.	00:30	4,18	344,72	2596,63	58295,034
07:47:26 a.m.	00:30	4,18	371,39	2345,73	52474,154
08:17:26 a.m.	00:30	4,18	396,51	3272,9	73984,498
08:47:26 a.m.	00:30	4,18	416,83	3315,29	74967,946
09:17:26 a.m.	00:30	4,18	436,45	3356,43	75922,394
09:47:26 a.m.	00:30	4,18	454,79	3394,89	76814,666
10:17:26 a.m.	00:30	4,18	468,70	3424,06	77491,41
10:47:26 a.m.	00:30	4,18	481,74	3451,4	78125,698
11:17:26 a.m.	00:30	4,18	488,02	3464,57	78431,242
11:47:26 a.m.	00:30	4,18	490,12	3468,98	78533,554
12:17:26 p.m.	00:30	4,18	495,28	3479,8	78784,578
12:47:26 p.m.	00:30	4,18	506,16	3503,04	79323,746

01:17:26 p.m.	00:30	4,18	514,73	3521,6	79754,338
01:47:26 p.m.	00:30	4,18	526,04	3546,1	80322,738
02:17:26 p.m.	00:30	4,18	537,15	3570,16	80880,93
02:47:26 p.m.	00:30	4,18	549,45	3596,8	81498,978
03:17:26 p.m.	00:30	4,18	560,50	3620,74	82054,386
03:47:26 p.m.	00:30	4,18	570,72	3642,87	82567,802
04:17:27 p.m.	00:30	4,18	581,83	3666,94	83126,226
04:47:27 p.m.	00:30	4,18	591,26	3687,36	83599,97
05:17:27 p.m.	00:30	4,18	600,76	3707,99	84078,586
05:47:27 p.m.	00:30	4,18	608,00	3724,18	84454,194
06:17:27 p.m.	00:30	4,18	616,51	3743,21	84895,69
06:47:27 p.m.	00:30	4,18	624,02	3760	85285,218
07:17:27 p.m.	00:30	4,18	628,81	3770,71	85533,69
07:47:27 p.m.	00:30	4,18	633,12	3780,35	85757,338
08:17:27 p.m.	00:30	4,18	638,11	3791,51	86016,25
08:47:27 p.m.	00:30	4,18	642,75	3801,88	86256,834
09:17:27 p.m.	00:30	4,18	647,29	3812,04	86492,546
09:47:27 p.m.	00:30	4,18	650,84	3819,97	86676,522
10:17:27 p.m.	00:30	4,18	651,95	3822,46	86734,29
10:47:27 p.m.	00:30	4,18	651,20	3820,78	86695,314
11:17:27 p.m.	00:30	4,18	647,76	3813,09	86516,906
11:47:27 p.m.	00:30	4,18	644,57	3805,95	86351,258
12:17:27 a.m.	00:30	4,18	640,70	3797,3	86150,578
12:47:27 a.m.	00:30	4,18	636,59	3788,11	85937,37
01:17:27 a.m.	00:30	4,18	632,11	3778,09	85704,906
01:47:27 a.m.	00:30	4,18	627,20	3767,11	85450,17
02:17:27 a.m.	00:30	4,18	622,07	3755,64	85184,066
02:47:27 a.m.	00:30	4,18	616,57	3743,35	84898,938
03:17:28 a.m.	00:30	4,18	610,90	3730,67	84604,762
03:47:28 a.m.	00:30	4,18	605,31	3718,17	84314,762
04:17:28 a.m.	00:30	4,18	599,29	3704,76	84003,65
04:47:28 a.m.	00:30	4,18	592,29	3689,6	83651,938
05:17:28 a.m.	00:30	4,18	585,69	3675,3	83320,178
05:47:28 a.m.	00:30	4,18	578,76	3660,29	82971,946
06:17:28 a.m.	00:30	4,18	571,07	3643,63	82585,434
06:47:28 a.m.	00:30	4,18	563,83	3627,95	82221,658
07:17:28 a.m.	00:30	4,18	556,55	3612,18	81855,794
07:47:28 a.m.	00:30	4,18	549,46	3596,83	81499,674
08:17:28 a.m.	00:30	4,18	541,75	3580,13	81112,234
08:47:28 a.m.	00:30	4,18	534,28	3563,95	80736,858
09:17:28 a.m.	00:30	4,18	525,57	3545,08	80299,074

09:47:28 a.m.	00:30	4,18	518,90	3530,63	79963,834
10:17:28 a.m.	00:30	4,18	512,05	3515,8	79619,778
10:47:28 a.m.	00:30	4,18	504,73	3499,94	79251,826
11:17:28 a.m.	00:30	4,18	499,74	3489,15	79001,498
11:47:28 a.m.	00:30	4,18	491,40	3471,66	78595,73
12:17:28 p.m.	00:30	4,18	483,44	3454,97	78208,522
12:47:28 p.m.	00:30	4,18	476,26	3439,91	77859,13
01:17:28 p.m.	00:30	4,18	469,96	3426,7	77552,658
01:47:28 p.m.	00:30	4,18	463,21	3412,55	77224,378
02:17:29 p.m.	00:30	4,18	458,23	3402,1	76981,938
02:47:29 p.m.	00:30	4,18	453,49	3392,16	76751,33
03:17:29 p.m.	00:30	4,18	450,14	3385,14	76588,466
03:47:29 p.m.	00:30	4,18	446,22	3376,92	76397,762
04:17:29 p.m.	00:30	4,18	443,17	3370,52	76249,282
04:47:29 p.m.	00:30	4,18	441,46	3366,94	76166,226
05:17:29 p.m.	00:30	4,18	436,39	3356,3	75919,378
05:47:29 p.m.	00:30	4,18	431,61	3346,28	75686,914
06:17:29 p.m.	00:30	4,18	427,37	3337,39	75480,666
06:47:29 p.m.	00:30	4,18	422,76	3327,72	75256,322
07:17:29 p.m.	00:30	4,18	418,24	3318,24	75036,386
07:47:29 p.m.	00:30	4,18	414,22	3309,81	74840,81
08:17:29 p.m.	00:30	4,18	410,38	3301,76	74654,05
08:47:29 p.m.	00:30	4,18	406,00	3292,58	74441,074
09:17:29 p.m.	00:30	4,18	401,89	3283,96	74241,09
09:47:29 p.m.	00:30	4,18	398,25	3276,44	74066,626
10:17:29 p.m.	00:30	4,18	393,91	3267,61	73861,77
10:47:29 p.m.	00:30	4,18	389,84	3259,34	73669,906
11:17:29 p.m.	00:30	4,18	385,89	3251,31	73483,61
11:47:29 p.m.	00:30	4,18	381,63	3242,65	73282,698
12:17:29 a.m.	00:30	4,18	377,49	2226,33	49704,074
12:47:29 a.m.	00:30	4,18	373,19	2316,65	51799,498
01:17:30 a.m.	00:30	4,18	369,79	2369,25	53019,818
01:47:30 a.m.	00:30	4,18	365,24	2427,64	54374,466
02:17:30 a.m.	00:30	4,18	360,94	2473,84	55446,306
02:47:30 a.m.	00:30	4,18	357,11	2509,2	56266,658
03:17:30 a.m.	00:30	4,18	352,91	2542,88	57048,034
03:47:30 a.m.	00:30	4,18	348,62	2572,76	57741,25
04:17:30 a.m.	00:30	4,18	344,50	2597,89	58324,266
04:47:30 a.m.	00:30	4,18	340,16	2621,26	58866,45
05:17:30 a.m.	00:30	4,18	335,86	2641,78	59342,514
05:47:30 a.m.	00:30	4,18	331,34	2660,97	59787,722

06:17:30 a.m.	00:30	4,18	327,10	2677,09	60161,706
06:47:30 a.m.	00:30	4,18	322,46	2692,94	60529,426
07:17:30 a.m.	00:30	4,18	317,77	2707,3	60862,578
07:47:30 a.m.	00:30	4,18	313,76	2718,4	61120,098
08:17:30 a.m.	00:30	4,18	308,81	2730,77	61407,082
08:47:30 a.m.	00:30	4,18	304,71	2740	61621,218
09:17:30 a.m.	00:30	4,18	300,46	2748,69	61822,826
09:47:30 a.m.	00:30	4,18	295,60	2757,6	62029,538
10:17:30 a.m.	00:30	4,18	290,50	2765,88	62221,634
10:47:30 a.m.	00:30	4,18	285,35	2773,21	62391,69
11:17:30 a.m.	00:30	4,18	273,67	2786,43	62698,394
11:37:30 a.m.	00:30	2,78	44,63	2581,8	57950,978
Total	74,61				9.482.478,56

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.4.7 Calor por agua formada en la combustión (Q_{ac})

$$Q_{ac} = m_{cu} * m_{ac} (h_g - u_a) \quad \text{Ecuación 87.}$$

m_{ac} : Masa del agua formada en la combustión (kg H_2O/kg Comb)

m_{cu} : Masa del carbón en el transcurso del tiempo (kg)

h_g : Entalpía del agua de vapor (kJ/kg)

u_a : Energía interna del agua (kJ/kg), a temperatura de 20 °C

Tabla 31. Composición química del carbón.

Composición	Porcentajes (%)
C	78.40
H ₂	4.20
O ₂	6.20
N ₂	1.70
S	1.20
Cenizas	5.40
H ₂ O	2.9
Total	100

Ladrillera Cúcuta. 2003.

$$m_{ac} = 9 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \quad \text{Ecuación 88.}$$

Reemplazando,

$$m_{ac} = 9 \left(0.042 - \frac{0.062}{8} \right)$$

$$m_{ac} = 0.30825 \frac{kgH_2O}{kgComb}$$

Reemplazando en la ecuación 87, se tendrá.

m_{cu} : cantidad de carbón durante la cocción cada 30 min. (4,18 kg)

$$Q_{ac} = 4,18 * 0.30825(2619,34 - 83.913)$$

$$Q_{ac} = 3,26 * 10^3 kJ$$

Se presenta el calor total por agua en la combustión, en el cual se varían la entalpía de vapor y el peso del carbón. (Ver tabla 32).

Tabla 32. Calor por agua formada en la combustión.

Agua formada en la combustión					
Masa agua combustión		0,30825	kg H ₂ O/kg Comb	Entalpía del vapor	Q _{ac}
Energía inter. del agua		83,913	kJ/kg		
Hora de toma	Nº de horas	Peso total (kg)	T ₄ Temp. Gases (°C)	(KJ/Kg)	(KJ)
09:47:24 a.m.	0	4,18	66,06	2619,34	3269,483
10:17:24 a.m.	00:30	4,18	66,75	2620,53	3271,017
10:47:24 a.m.	00:30	4,18	67,15	2621,21	3271,894
11:17:24 a.m.	00:30	4,18	67,58	2621,95	3272,849
11:47:24 a.m.	00:30	4,18	66,49	2620,08	3270,437
12:17:24 p.m.	00:30	4,18	67,42	2621,68	3272,5
12:47:24 p.m.	00:30	4,18	68,78	2624,01	3275,505
01:17:24 p.m.	00:30	4,18	64,39	2616,46	3265,769
01:47:24 p.m.	00:30	4,18	65,40	2618,2	3268,013
02:17:24 p.m.	00:30	4,18	68,64	2623,77	3275,195
02:47:24 p.m.	00:30	4,18	69,96	2626,03	3278,11

03:17:24 p.m.	00:30	4,18	70,25	2626,53	3278,755
03:47:24 p.m.	00:30	4,18	70,77	2627,41	3279,889
04:17:24 p.m.	00:30	4,18	70,23	2626,49	3278,703
04:47:24 p.m.	00:30	4,18	71,14	2628,05	3280,715
05:17:24 p.m.	00:30	4,18	71,22	2628,18	3280,882
05:47:25 p.m.	00:30	4,18	72,19	2629,83	3283,01
06:17:25 p.m.	00:30	4,18	73,01	2631,23	3284,815
06:47:25 p.m.	00:30	4,18	74,08	2633,04	3287,149
07:17:25 p.m.	00:30	4,18	75,11	2634,79	3289,406
07:47:25 p.m.	00:30	4,18	77,73	2639,21	3295,106
08:17:25 p.m.	00:30	4,18	78,95	2641,26	3297,749
08:47:25 p.m.	00:30	4,18	79,75	2642,6	3299,477
09:17:25 p.m.	00:30	4,18	80,58	2643,98	3301,257
09:47:25 p.m.	00:30	4,18	81,20	2645,02	3302,598
10:17:25 p.m.	00:30	4,18	82,22	2646,72	3304,79
10:47:25 p.m.	00:30	4,18	84,63	2650,71	3309,935
11:17:25 p.m.	00:30	4,18	81,91	2646,2	3304,119
11:47:25 p.m.	00:30	4,18	82,83	2647,73	3306,092
12:17:25 a.m.	00:30	4,18	84,51	2650,52	3309,69
12:47:25 a.m.	00:30	4,18	86,33	2653,52	3313,559
01:17:25 a.m.	00:30	4,18	88,42	2656,95	3317,982
01:47:25 a.m.	00:30	4,18	92,47	2663,54	3326,48
02:17:25 a.m.	00:30	4,18	98,40	2673,04	3338,73
02:47:25 a.m.	00:30	4,18	107,93	2687,91	3357,905
03:17:25 a.m.	00:30	4,18	117,93	2702,91	3377,248
03:47:25 a.m.	00:30	4,18	131,83	2722,59	3402,626
04:17:25 a.m.	00:30	4,18	150,88	2746,97	3434,064
04:47:25 a.m.	00:30	4,18	172,46	2770,3	3464,149
05:17:26 a.m.	00:30	4,18	197,37	2790,42	3490,094
05:47:26 a.m.	00:30	4,18	232,71	2803,22	3506,6
06:17:26 a.m.	00:30	4,18	267,96	2791,33	3491,267
06:47:26 a.m.	00:30	4,18	305,74	2737,76	3422,188
07:17:26 a.m.	00:30	4,18	344,72	2596,63	3240,198
07:47:26 a.m.	00:30	4,18	371,39	2345,73	2916,657
08:17:26 a.m.	00:30	4,18	396,51	3272,9	4112,261
08:47:26 a.m.	00:30	4,18	416,83	3315,29	4166,924
09:17:26 a.m.	00:30	4,18	436,45	3356,43	4219,975
09:47:26 a.m.	00:30	4,18	454,79	3394,89	4269,57
10:17:26 a.m.	00:30	4,18	468,70	3424,06	4307,185
10:47:26 a.m.	00:30	4,18	481,74	3451,4	4342,441
11:17:26 a.m.	00:30	4,18	488,02	3464,57	4359,424

11:47:26 a.m.	00:30	4,18	490,12	3468,98	4365,11
12:17:26 p.m.	00:30	4,18	495,28	3479,8	4379,063
12:47:26 p.m.	00:30	4,18	506,16	3503,04	4409,031
01:17:26 p.m.	00:30	4,18	514,73	3521,6	4432,965
01:47:26 p.m.	00:30	4,18	526,04	3546,1	4464,558
02:17:26 p.m.	00:30	4,18	537,15	3570,16	4495,584
02:47:26 p.m.	00:30	4,18	549,45	3596,8	4529,937
03:17:26 p.m.	00:30	4,18	560,50	3620,74	4560,808
03:47:26 p.m.	00:30	4,18	570,72	3642,87	4589,345
04:17:27 p.m.	00:30	4,18	581,83	3666,94	4620,384
04:47:27 p.m.	00:30	4,18	591,26	3687,36	4646,716
05:17:27 p.m.	00:30	4,18	600,76	3707,99	4673,318
05:47:27 p.m.	00:30	4,18	608,00	3724,18	4694,196
06:17:27 p.m.	00:30	4,18	616,51	3743,21	4718,735
06:47:27 p.m.	00:30	4,18	624,02	3760	4740,386
07:17:27 p.m.	00:30	4,18	628,81	3770,71	4754,197
07:47:27 p.m.	00:30	4,18	633,12	3780,35	4766,628
08:17:27 p.m.	00:30	4,18	638,11	3791,51	4781,019
08:47:27 p.m.	00:30	4,18	642,75	3801,88	4794,391
09:17:27 p.m.	00:30	4,18	647,29	3812,04	4807,493
09:47:27 p.m.	00:30	4,18	650,84	3819,97	4817,719
10:17:27 p.m.	00:30	4,18	651,95	3822,46	4820,93
10:47:27 p.m.	00:30	4,18	651,20	3820,78	4818,763
11:17:27 p.m.	00:30	4,18	647,76	3813,09	4808,847
11:47:27 p.m.	00:30	4,18	644,57	3805,95	4799,64
12:17:27 a.m.	00:30	4,18	640,70	3797,3	4788,485
12:47:27 a.m.	00:30	4,18	636,59	3788,11	4776,635
01:17:27 a.m.	00:30	4,18	632,11	3778,09	4763,714
01:47:27 a.m.	00:30	4,18	627,20	3767,11	4749,555
02:17:27 a.m.	00:30	4,18	622,07	3755,64	4734,764
02:47:27 a.m.	00:30	4,18	616,57	3743,35	4718,916
03:17:28 a.m.	00:30	4,18	610,90	3730,67	4702,565
03:47:28 a.m.	00:30	4,18	605,31	3718,17	4686,446
04:17:28 a.m.	00:30	4,18	599,29	3704,76	4669,153
04:47:28 a.m.	00:30	4,18	592,29	3689,6	4649,604
05:17:28 a.m.	00:30	4,18	585,69	3675,3	4631,164
05:47:28 a.m.	00:30	4,18	578,76	3660,29	4611,808
06:17:28 a.m.	00:30	4,18	571,07	3643,63	4590,325
06:47:28 a.m.	00:30	4,18	563,83	3627,95	4570,105
07:17:28 a.m.	00:30	4,18	556,55	3612,18	4549,77
07:47:28 a.m.	00:30	4,18	549,46	3596,83	4529,975

08:17:28 a.m.	00:30	4,18	541,75	3580,13	4508,441
08:47:28 a.m.	00:30	4,18	534,28	3563,95	4487,576
09:17:28 a.m.	00:30	4,18	525,57	3545,08	4463,243
09:47:28 a.m.	00:30	4,18	518,90	3530,63	4444,609
10:17:28 a.m.	00:30	4,18	512,05	3515,8	4425,486
10:47:28 a.m.	00:30	4,18	504,73	3499,94	4405,034
11:17:28 a.m.	00:30	4,18	499,74	3489,15	4391,12
11:47:28 a.m.	00:30	4,18	491,40	3471,66	4368,566
12:17:28 p.m.	00:30	4,18	483,44	3454,97	4347,044
12:47:28 p.m.	00:30	4,18	476,26	3439,91	4327,624
01:17:28 p.m.	00:30	4,18	469,96	3426,7	4310,59
01:47:28 p.m.	00:30	4,18	463,21	3412,55	4292,343
02:17:29 p.m.	00:30	4,18	458,23	3402,1	4278,867
02:47:29 p.m.	00:30	4,18	453,49	3392,16	4266,05
03:17:29 p.m.	00:30	4,18	450,14	3385,14	4256,997
03:47:29 p.m.	00:30	4,18	446,22	3376,92	4246,397
04:17:29 p.m.	00:30	4,18	443,17	3370,52	4238,144
04:47:29 p.m.	00:30	4,18	441,46	3366,94	4233,528
05:17:29 p.m.	00:30	4,18	436,39	3356,3	4219,807
05:47:29 p.m.	00:30	4,18	431,61	3346,28	4206,886
06:17:29 p.m.	00:30	4,18	427,37	3337,39	4195,423
06:47:29 p.m.	00:30	4,18	422,76	3327,72	4182,953
07:17:29 p.m.	00:30	4,18	418,24	3318,24	4170,728
07:47:29 p.m.	00:30	4,18	414,22	3309,81	4159,858
08:17:29 p.m.	00:30	4,18	410,38	3301,76	4149,477
08:47:29 p.m.	00:30	4,18	406,00	3292,58	4137,639
09:17:29 p.m.	00:30	4,18	401,89	3283,96	4126,523
09:47:29 p.m.	00:30	4,18	398,25	3276,44	4116,826
10:17:29 p.m.	00:30	4,18	393,91	3267,61	4105,44
10:47:29 p.m.	00:30	4,18	389,84	3259,34	4094,776
11:17:29 p.m.	00:30	4,18	385,89	3251,31	4084,421
11:47:29 p.m.	00:30	4,18	381,63	3242,65	4073,253
12:17:29 a.m.	00:30	4,18	377,49	2226,33	2762,689
12:47:29 a.m.	00:30	4,18	373,19	2316,65	2879,158
01:17:30 a.m.	00:30	4,18	369,79	2369,25	2946,987
01:47:30 a.m.	00:30	4,18	365,24	2427,64	3022,282
02:17:30 a.m.	00:30	4,18	360,94	2473,84	3081,858
02:47:30 a.m.	00:30	4,18	357,11	2509,2	3127,455
03:17:30 a.m.	00:30	4,18	352,91	2542,88	3170,886
03:47:30 a.m.	00:30	4,18	348,62	2572,76	3209,417
04:17:30 a.m.	00:30	4,18	344,50	2597,89	3241,823

04:47:30 a.m.	00:30	4,18	340,16	2621,26	3271,959
05:17:30 a.m.	00:30	4,18	335,86	2641,78	3298,42
05:47:30 a.m.	00:30	4,18	331,34	2660,97	3323,166
06:17:30 a.m.	00:30	4,18	327,10	2677,09	3343,953
06:47:30 a.m.	00:30	4,18	322,46	2692,94	3364,392
07:17:30 a.m.	00:30	4,18	317,77	2707,3	3382,909
07:47:30 a.m.	00:30	4,18	313,76	2718,4	3397,223
08:17:30 a.m.	00:30	4,18	308,81	2730,77	3413,174
08:47:30 a.m.	00:30	4,18	304,71	2740	3425,076
09:17:30 a.m.	00:30	4,18	300,46	2748,69	3436,282
09:47:30 a.m.	00:30	4,18	295,60	2757,6	3447,772
10:17:30 a.m.	00:30	4,18	290,50	2765,88	3458,449
10:47:30 a.m.	00:30	4,18	285,35	2773,21	3467,901
11:17:30 a.m.	00:30	4,18	273,67	2786,43	3484,949
11:37:30 a.m.	00:30	2,78	44,63	2581,8	2147,383
Total	74,61				527.062,17

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.4.8 Calor por humedad de aire (Qwa)⁹⁶

$$Q_{wa} = m_{wa} * m_{as} (h_{ga} - h_{wa}) m_{cu} \quad \text{Ecuación 89.}$$

m_{as} : Masa de aire seco (kg Aire/kg Comb)

m_{wa} : Masa de humedad del aire (kg H₂O/kg Aire) (Ver Anexo C)

h_{ga} : Entalpía del vapor de aire (kJ/kg)

h_{wa} : Entalpía de la humedad del aire (kJ/kg Aire)(Ver Anexo C)

ϕ : Humedad relativa (79%)⁹⁷

T_{bs} : Temperatura de bulbo seco (27,6 °C)⁹⁸

Tiempo de quema: 74,61 horas

La humedad relativa y temperatura se tomó a un promedio de:

$$\begin{aligned} \phi: 70\% & \qquad m_{wa} = 0.0175 \frac{kgH_2O}{kgAireseco} \\ & \qquad \rightarrow \\ T_{bs}: 27,6 \text{ } ^\circ C & \qquad h_{wa} = 71,2 \frac{kJ}{kgAireseco} \end{aligned}$$

⁹⁶ VERA Duarte, Luis Emilio. Evaluación de las pérdidas de energía en los hornos tipo colmena.2003.

⁹⁷ NASA. Surface meteorology and Solar Energy

⁹⁸ Ibid 1

La masa de aire seco será:

*
 V_{sd} : Rata de flujo estándar de aire seco
 V_{sd} : Flujo volumétrico estándar de humos

Calculando para la combustión del carbón:

O_o : Oxígeno teórico ($kmol O_2/kgComb$)
 O_{ov} : Oxígeno teórico en volumen ($m^3n O /kg Comb$)
 V_gO_o : Volumen de humos para el oxígeno teórico
 V_gA_o : Volumen de humos de aire teórico
 V_gA_r : Volumen de humos de aire real
 λ : Factor de aire
 M_{om} : Masa de aire teórico ($kgHumos/kgComb$)
 M_{rm} : Masa de aire real ($kgHumos/kgComb$)
 W : Agua, composición Química: 0,029 (ver tabla 31)

$$O_{ov} = \left[\frac{C}{12} + \frac{h}{4} + \frac{S-O}{32} \right] * 22,4 \frac{m^3.N.O_2}{kg.comb.} \quad \text{Ecuación 90.}$$

$$O_{ov} = \left[\frac{0,784}{12} + \frac{0,042}{4} + \frac{0,012-0,062}{32} \right] * 22,4 \frac{m^3.N.O_2}{kg.comb.}$$

$$O_{ov} = 1,663 \frac{m^3.N.O_2}{kg.comb.}$$

$$V_gO_o = \left[\frac{C}{12} + \frac{h}{3} + \frac{S}{32} + \frac{N}{28} + \frac{W}{18} \right] * 22,4 \frac{m^3.N.humos}{kg.comb.} \quad \text{Ecuación 91.}$$

$$V_gO_o = \left[\frac{0,784}{12} + \frac{0,042}{3} + \frac{0,012}{32} + \frac{0,017}{28} + \frac{0,029}{18} \right] * 22,4 \frac{m^3.N.humos}{kg.comb.}$$

$$V_gO_o = 1,99 \frac{m^3.N.humos}{kg.comb.}$$

$$VgAo = [VgOo + VN2] = VgOo + 3,76 * Oov \frac{m3.N.humos}{kg.comb.} \quad \text{Ecuación 92.}$$

$$VgAo = [1,99 + 3,76 * 1,663] \frac{m3.N.humos}{kg.comb.}$$

$$VgAo = 8,24 \frac{m3.N.humos}{kg.comb.}$$

$$VgAr = VgAo + Aov(\lambda - 1) = VgAo + \frac{Ov}{0,21} (\lambda - 1) \frac{m3.n.humos}{kg.comb.} \quad \text{Ecuación 93.}$$

El volumen de gases recomendado en hornos ladrilleros es de:

$$VgAr = 14,7 \frac{m3.N.humos}{kg.comb.} \quad ^{99}$$

Luego el factor de aire se hallara por la ecuación 93, por lo tanto:

$$\lambda = 1 + \frac{(VgAr - VgAo) m3.n.humos}{4,762 * Ov kg.comb.} \quad \text{Ecuación 94.}$$

$$\lambda = 3,27$$

$$M_{om} = \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S-O}{32} \right) \frac{32}{0.23} \quad \text{Ecuación 95.}$$

$$M_{om} = 10.333 \frac{kgHumos}{kgComb}$$

⁹⁹ SERRANO TRILLOS, Carlos. Estudio teórico práctico del proceso de combustión de los hornos de tiro invertido para el Chircal San Luis de Cúcuta. Cúcuta. 1980. 120 p. Trabajo de grado. (Ingeniero Mecánico). Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingenierías. Área de Térmicas.

$$M_{rm} = \lambda * M_{om} \quad \text{Ecuación 96.}$$

$$M_{rm} = 3.27 * 10,33$$

$$M_{rm} = 33,8 \frac{kgHumos}{kgComb}$$

Remplazando (ver la tabla 33), tenemos para las primeras temperaturas:

$$Q_{wa} = 33,8 * 0.0175(2619,34 - 71,2) * 4,18$$

$$Q_{wa} = 6,3 * 10^3 kJ$$

Tabla 33. Calor por la humedad el aire.

Calor por la humedad el aire					
Masa de aire seco		33,8	Kg humo/kg Comb	Entalpía del vapor	Qwa
Entalpía de la húmeda del aire		83,913	<i>kJ/kg</i>		
Hora de toma	N° de horas	Peso total (kg)	T ₄ Temp. Gases (°C)	(KJ/Kg)	(KJ)
09:47:24 a.m.	0	4,18	66,06	2619,34	6306,84
10:17:24 a.m.	00:30	4,18	66,75	2620,53	6309,785
10:47:24 a.m.	00:30	4,18	67,15	2621,21	6311,469
11:17:24 a.m.	00:30	4,18	67,58	2621,95	6313,3
11:47:24 a.m.	00:30	4,18	66,49	2620,08	6308,672
12:17:24 p.m.	00:30	4,18	67,42	2621,68	6312,632
12:47:24 p.m.	00:30	4,18	68,78	2624,01	6318,399
01:17:24 p.m.	00:30	4,18	64,39	2616,46	6299,712
01:47:24 p.m.	00:30	4,18	65,40	2618,2	6304,019
02:17:24 p.m.	00:30	4,18	68,64	2623,77	6317,805
02:47:24 p.m.	00:30	4,18	69,96	2626,03	6323,398
03:17:24 p.m.	00:30	4,18	70,25	2626,53	6324,636
03:47:24 p.m.	00:30	4,18	70,77	2627,41	6326,814
04:17:24 p.m.	00:30	4,18	70,23	2626,49	6324,537
04:47:24 p.m.	00:30	4,18	71,14	2628,05	6328,398
05:17:24 p.m.	00:30	4,18	71,22	2628,18	6328,72
05:47:25 p.m.	00:30	4,18	72,19	2629,83	6332,804
06:17:25 p.m.	00:30	4,18	73,01	2631,23	6336,269
06:47:25 p.m.	00:30	4,18	74,08	2633,04	6340,749
07:17:25 p.m.	00:30	4,18	75,11	2634,79	6345,08
07:47:25 p.m.	00:30	4,18	77,73	2639,21	6356,02

08:17:25 p.m.	00:30	4,18	78,95	2641,26	6361,094
08:47:25 p.m.	00:30	4,18	79,75	2642,6	6364,41
09:17:25 p.m.	00:30	4,18	80,58	2643,98	6367,826
09:47:25 p.m.	00:30	4,18	81,20	2645,02	6370,4
10:17:25 p.m.	00:30	4,18	82,22	2646,72	6374,608
10:47:25 p.m.	00:30	4,18	84,63	2650,71	6384,483
11:17:25 p.m.	00:30	4,18	81,91	2646,2	6373,321
11:47:25 p.m.	00:30	4,18	82,83	2647,73	6377,108
12:17:25 a.m.	00:30	4,18	84,51	2650,52	6384,013
12:47:25 a.m.	00:30	4,18	86,33	2653,52	6391,438
01:17:25 a.m.	00:30	4,18	88,42	2656,95	6399,928
01:47:25 a.m.	00:30	4,18	92,47	2663,54	6416,238
02:17:25 a.m.	00:30	4,18	98,40	2673,04	6439,752
02:47:25 a.m.	00:30	4,18	107,93	2687,91	6476,556
03:17:25 a.m.	00:30	4,18	117,93	2702,91	6513,682
03:47:25 a.m.	00:30	4,18	131,83	2722,59	6562,392
04:17:25 a.m.	00:30	4,18	150,88	2746,97	6622,734
04:47:25 a.m.	00:30	4,18	172,46	2770,3	6680,478
05:17:26 a.m.	00:30	4,18	197,37	2790,42	6730,276
05:47:26 a.m.	00:30	4,18	232,71	2803,22	6761,957
06:17:26 a.m.	00:30	4,18	267,96	2791,33	6732,528
06:47:26 a.m.	00:30	4,18	305,74	2737,76	6599,939
07:17:26 a.m.	00:30	4,18	344,72	2596,63	6250,631
07:47:26 a.m.	00:30	4,18	371,39	2345,73	5629,635
08:17:26 a.m.	00:30	4,18	396,51	3272,9	7924,451
08:47:26 a.m.	00:30	4,18	416,83	3315,29	8029,369
09:17:26 a.m.	00:30	4,18	436,45	3356,43	8131,194
09:47:26 a.m.	00:30	4,18	454,79	3394,89	8226,385
10:17:26 a.m.	00:30	4,18	468,70	3424,06	8298,583
10:47:26 a.m.	00:30	4,18	481,74	3451,4	8366,252
11:17:26 a.m.	00:30	4,18	488,02	3464,57	8398,849
11:47:26 a.m.	00:30	4,18	490,12	3468,98	8409,764
12:17:26 p.m.	00:30	4,18	495,28	3479,8	8436,544
12:47:26 p.m.	00:30	4,18	506,16	3503,04	8494,065
01:17:26 p.m.	00:30	4,18	514,73	3521,6	8540,002
01:47:26 p.m.	00:30	4,18	526,04	3546,1	8600,642
02:17:26 p.m.	00:30	4,18	537,15	3570,16	8660,192
02:47:26 p.m.	00:30	4,18	549,45	3596,8	8726,128
03:17:26 p.m.	00:30	4,18	560,50	3620,74	8785,381
03:47:26 p.m.	00:30	4,18	570,72	3642,87	8840,155
04:17:27 p.m.	00:30	4,18	581,83	3666,94	8899,73

04:47:27 p.m.	00:30	4,18	591,26	3687,36	8950,271
05:17:27 p.m.	00:30	4,18	600,76	3707,99	9001,332
05:47:27 p.m.	00:30	4,18	608,00	3724,18	9041,403
06:17:27 p.m.	00:30	4,18	616,51	3743,21	9088,504
06:47:27 p.m.	00:30	4,18	624,02	3760	9130,06
07:17:27 p.m.	00:30	4,18	628,81	3770,71	9156,568
07:47:27 p.m.	00:30	4,18	633,12	3780,35	9180,428
08:17:27 p.m.	00:30	4,18	638,11	3791,51	9208,05
08:47:27 p.m.	00:30	4,18	642,75	3801,88	9233,716
09:17:27 p.m.	00:30	4,18	647,29	3812,04	9258,863
09:47:27 p.m.	00:30	4,18	650,84	3819,97	9278,491
10:17:27 p.m.	00:30	4,18	651,95	3822,46	9284,654
10:47:27 p.m.	00:30	4,18	651,20	3820,78	9280,495
11:17:27 p.m.	00:30	4,18	647,76	3813,09	9261,462
11:47:27 p.m.	00:30	4,18	644,57	3805,95	9243,79
12:17:27 a.m.	00:30	4,18	640,70	3797,3	9222,381
12:47:27 a.m.	00:30	4,18	636,59	3788,11	9199,635
01:17:27 a.m.	00:30	4,18	632,11	3778,09	9174,834
01:47:27 a.m.	00:30	4,18	627,20	3767,11	9147,658
02:17:27 a.m.	00:30	4,18	622,07	3755,64	9119,269
02:47:27 a.m.	00:30	4,18	616,57	3743,35	9088,85
03:17:28 a.m.	00:30	4,18	610,90	3730,67	9057,466
03:47:28 a.m.	00:30	4,18	605,31	3718,17	9026,528
04:17:28 a.m.	00:30	4,18	599,29	3704,76	8993,337
04:47:28 a.m.	00:30	4,18	592,29	3689,6	8955,815
05:17:28 a.m.	00:30	4,18	585,69	3675,3	8920,421
05:47:28 a.m.	00:30	4,18	578,76	3660,29	8883,27
06:17:28 a.m.	00:30	4,18	571,07	3643,63	8842,036
06:47:28 a.m.	00:30	4,18	563,83	3627,95	8803,226
07:17:28 a.m.	00:30	4,18	556,55	3612,18	8764,195
07:47:28 a.m.	00:30	4,18	549,46	3596,83	8726,202
08:17:28 a.m.	00:30	4,18	541,75	3580,13	8684,868
08:47:28 a.m.	00:30	4,18	534,28	3563,95	8644,822
09:17:28 a.m.	00:30	4,18	525,57	3545,08	8598,117
09:47:28 a.m.	00:30	4,18	518,90	3530,63	8562,352
10:17:28 a.m.	00:30	4,18	512,05	3515,8	8525,647
10:47:28 a.m.	00:30	4,18	504,73	3499,94	8486,392
11:17:28 a.m.	00:30	4,18	499,74	3489,15	8459,686
11:47:28 a.m.	00:30	4,18	491,40	3471,66	8416,397
12:17:28 p.m.	00:30	4,18	483,44	3454,97	8375,088
12:47:28 p.m.	00:30	4,18	476,26	3439,91	8337,813

01:17:28 p.m.	00:30	4,18	469,96	3426,7	8305,117
01:47:28 p.m.	00:30	4,18	463,21	3412,55	8270,095
02:17:29 p.m.	00:30	4,18	458,23	3402,1	8244,231
02:47:29 p.m.	00:30	4,18	453,49	3392,16	8219,628
03:17:29 p.m.	00:30	4,18	450,14	3385,14	8202,253
03:47:29 p.m.	00:30	4,18	446,22	3376,92	8181,908
04:17:29 p.m.	00:30	4,18	443,17	3370,52	8166,068
04:47:29 p.m.	00:30	4,18	441,46	3366,94	8157,207
05:17:29 p.m.	00:30	4,18	436,39	3356,3	8130,872
05:47:29 p.m.	00:30	4,18	431,61	3346,28	8106,072
06:17:29 p.m.	00:30	4,18	427,37	3337,39	8084,068
06:47:29 p.m.	00:30	4,18	422,76	3327,72	8060,134
07:17:29 p.m.	00:30	4,18	418,24	3318,24	8036,671
07:47:29 p.m.	00:30	4,18	414,22	3309,81	8015,806
08:17:29 p.m.	00:30	4,18	410,38	3301,76	7995,881
08:47:29 p.m.	00:30	4,18	406,00	3292,58	7973,16
09:17:29 p.m.	00:30	4,18	401,89	3283,96	7951,825
09:47:29 p.m.	00:30	4,18	398,25	3276,44	7933,213
10:17:29 p.m.	00:30	4,18	393,91	3267,61	7911,358
10:47:29 p.m.	00:30	4,18	389,84	3259,34	7890,889
11:17:29 p.m.	00:30	4,18	385,89	3251,31	7871,014
11:47:29 p.m.	00:30	4,18	381,63	3242,65	7849,58
12:17:29 a.m.	00:30	4,18	377,49	2226,33	5334,11
12:47:29 a.m.	00:30	4,18	373,19	2316,65	5557,659
01:17:30 a.m.	00:30	4,18	369,79	2369,25	5687,848
01:47:30 a.m.	00:30	4,18	365,24	2427,64	5832,368
02:17:30 a.m.	00:30	4,18	360,94	2473,84	5946,717
02:47:30 a.m.	00:30	4,18	357,11	2509,2	6034,235
03:17:30 a.m.	00:30	4,18	352,91	2542,88	6117,596
03:47:30 a.m.	00:30	4,18	348,62	2572,76	6191,551
04:17:30 a.m.	00:30	4,18	344,50	2597,89	6253,75
04:47:30 a.m.	00:30	4,18	340,16	2621,26	6311,592
05:17:30 a.m.	00:30	4,18	335,86	2641,78	6362,381
05:47:30 a.m.	00:30	4,18	331,34	2660,97	6409,878
06:17:30 a.m.	00:30	4,18	327,10	2677,09	6449,776
06:47:30 a.m.	00:30	4,18	322,46	2692,94	6489,006
07:17:30 a.m.	00:30	4,18	317,77	2707,3	6524,548
07:47:30 a.m.	00:30	4,18	313,76	2718,4	6552,021
08:17:30 a.m.	00:30	4,18	308,81	2730,77	6582,638
08:47:30 a.m.	00:30	4,18	304,71	2740	6605,483
09:17:30 a.m.	00:30	4,18	300,46	2748,69	6626,991

09:47:30 a.m.	00:30	4,18	295,60	2757,6	6649,044
10:17:30 a.m.	00:30	4,18	290,50	2765,88	6669,538
10:47:30 a.m.	00:30	4,18	285,35	2773,21	6687,68
11:17:30 a.m.	00:30	4,18	273,67	2786,43	6720,401
11:37:30 a.m.	00:30	2,78	44,63	2581,8	4142,617
Total	74,61				1.015.785,14

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.4.9 Calor por inquemados (Q_i)¹⁰⁰

$$Q_i = m_c * c_e * P_f * P_{cq} \quad \text{Ecuación 97.}$$

c_e : Cenizas residuales (ver tabla 31).

P_f : Pérdida al fuego (15,8%)¹⁰¹

P_{cq} : Poder calorífico del carbón como quemado (kJ/kg).¹⁰²

m_c : masa total de carbón (800 kg)

Reemplazando se tiene:

$$Q_i = 800 * 0.54 * 0.158 * 29205,6$$

$$Q_i = 199,34,56kJ$$

5.4.10 Calor por pared (Q_p)

El flujo de calor a través de una pared está dado por:

R : Resistencia al flujo de calor del material (ladrillo)

K : conductividad térmica para (0,8 W/m-K ladrillo común)¹⁰³

A : Área de la sección travesar al flujo de calor

L : Distancia entre superficie fría y caliente

t : Intervalo de tiempo

¹⁰⁰ VERA Duarte, Luis Emilio. Evaluación de las pérdidas de energía en los hornos tipo colmena de tiro invertido en la ladrillera Cúcuta. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingeniería. 2003.

¹⁰¹ SERRANO TRILLOS, Carlos. Estudio teórico práctico del proceso de combustión de los hornos de tiro invertido para el Chircal San Luis de Cúcuta. Cúcuta. 1980. 120 p. Trabajo de grado. (Ingeniero Mecánico). Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingenierías. Área de Térmicas.

¹⁰² Ibid 159

¹⁰³ MILIARIUM. Propiedades térmicas de materiales. [En línea]. (2013). Disponible en: <<http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>> [Citado el 10 de Mayo de 2015]

$$R = \frac{l}{K * A} \quad Q_p = \frac{\Delta T}{R} * t \quad ^{104} \quad \text{Ecuación 98.}$$

A continuación se realizará un ejemplo del cálculo del calor por la pared y se procede a tabular para encontrar el calor total (ver tabla 34).

A_p : Área de la pared.

A_{pu} : Área de la puerta.

L_p : Espesor de pared.

l : largo del horno (2,5 m)

ae : Ancho del horno (2m)

ai : Ancho interior del horno (1,3 m)

h : Altura del horno (2,88 m)

l_p : Largo del horno (2,5 m)

t_p : Espesor de la pared (0,35 m)

Ancho de la puerta (0,55m)

Alto de la Puerta (1,25m)

Lado a de la sección triangular (0,4m)

Lado b de la sección triangular (0,55m)

Área de la sección triangular (0,079 m²)¹⁰⁵

$$R = 2 \left\{ \frac{l_p}{K * A_p} \right\} + \frac{l_p}{K * (A_p - A_{pu})} + \frac{l_p}{K * A_p} \quad \text{Ecuación 99.}$$

$$R = 2 \left\{ \frac{0,35}{0,8 * (2,88 * 2,25)} \right\} + \frac{0,35}{0,8 * (2,88 * 1,3 - (0,55 * 1,25 + 0,079))} + \frac{0,35}{0,8 * (2,88 * 1,3)}$$

$$R = 0,38 \frac{K}{W}$$

$$Q_p = \frac{(T_{7i} - T_{7e})t}{R} \quad \text{Ecuación 100.}$$

Para un tiempo de 0,5 horas y la temperatura, $T_{3i} = 70,79^\circ C$, $T_{7e} = 47,22^\circ C$; el calor perdido será:

¹⁰⁴ DONALD, Kern. Procesos de transferencia de calor. Magraw Hill. México .1999.

¹⁰⁵ UNIVERSO DE LAS FORMULAS. En línea]. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/pdf/530/53050901.pdf> > [Citado el 12 de febrero de 2015]

$$Q_p = \frac{(70,79 - 47,22)t}{0,38} \quad Q_p = 110,1kJ$$

Tabla 34. Calor por Pared.

Calor por pared				
Conductividad		0,8	W/mK	Qp
		Temperaturas		
Hora de toma	N° de horas	T _{3i} Pared (°C)	T _{7e} Pared (°C)	(KJ)
09:47:24 a.m.	0	66,58	46,36	
10:17:24 a.m.	00:30	70,79	47,22	110,1068
10:47:24 a.m.	00:30	77,33	48,19	136,127
11:17:24 a.m.	00:30	84,79	49,70	163,9223
11:47:24 a.m.	00:30	93,38	51,02	197,8839
12:17:24 p.m.	00:30	102,30	51,52	237,2178
12:47:24 p.m.	00:30	113,90	51,55	291,2669
01:17:24 p.m.	00:30	126,07	51,83	346,8108
01:47:24 p.m.	00:30	138,41	52,42	401,7007
02:17:24 p.m.	00:30	150,65	52,82	457,011
02:47:24 p.m.	00:30	163,25	54,64	507,3696
03:17:24 p.m.	00:30	173,84	54,31	558,3821
03:47:24 p.m.	00:30	185,19	55,55	605,6108
04:17:24 p.m.	00:30	195,10	56,29	648,4483
04:47:24 p.m.	00:30	204,34	57,66	685,2129
05:17:24 p.m.	00:30	212,72	58,86	718,7541
05:47:25 p.m.	00:30	220,99	61,13	746,783
06:17:25 p.m.	00:30	228,42	60,63	783,8278
06:47:25 p.m.	00:30	235,02	62,09	807,8392
07:17:25 p.m.	00:30	241,19	62,36	835,401
07:47:25 p.m.	00:30	246,80	63,96	854,1336
08:17:25 p.m.	00:30	251,87	65,04	872,7728
08:47:25 p.m.	00:30	256,69	66,55	888,2354
09:17:25 p.m.	00:30	261,06	68,24	900,755
09:47:25 p.m.	00:30	264,62	70,10	908,6965
10:17:25 p.m.	00:30	267,75	71,44	917,0585
10:47:25 p.m.	00:30	271,82	73,61	925,9343
11:17:25 p.m.	00:30	273,66	74,47	930,5123
11:47:25 p.m.	00:30	276,25	76,08	935,0904
12:17:25 a.m.	00:30	277,45	77,63	933,4554
12:47:25 a.m.	00:30	279,69	79,17	936,7254

01:17:25 a.m.	00:30	280,95	80,20	937,7999
01:47:25 a.m.	00:30	281,78	81,56	935,324
02:17:25 a.m.	00:30	281,65	81,94	932,9415
02:47:25 a.m.	00:30	283,34	83,04	935,6977
03:17:25 a.m.	00:30	283,36	83,52	933,5488
03:47:25 a.m.	00:30	283,59	84,89	928,2233
04:17:25 a.m.	00:30	284,86	86,07	928,6438
04:47:25 a.m.	00:30	285,13	86,72	926,8686
05:17:26 a.m.	00:30	285,76	87,60	925,7007
05:47:26 a.m.	00:30	285,93	88,29	923,2715
06:17:26 a.m.	00:30	286,23	88,97	921,4964
06:47:26 a.m.	00:30	286,41	89,99	917,5723
07:17:26 a.m.	00:30	285,94	90,92	911,0323
07:47:26 a.m.	00:30	286,33	92,66	904,7258
08:17:26 a.m.	00:30	286,52	94,43	897,3448
08:47:26 a.m.	00:30	286,92	97,08	886,834
09:17:26 a.m.	00:30	286,10	99,15	873,3334
09:47:26 a.m.	00:30	284,96	100,09	863,6167
10:17:26 a.m.	00:30	283,38	100,65	853,6198
10:47:26 a.m.	00:30	281,35	100,56	844,5571
11:17:26 a.m.	00:30	279,30	100,01	837,5499
11:47:26 a.m.	00:30	278,31	100,20	832,0375
12:17:26 p.m.	00:30	276,96	99,98	826,7587
12:47:26 p.m.	00:30	275,91	99,83	822,5544
01:17:26 p.m.	00:30	274,95	100,02	817,1822
01:47:26 p.m.	00:30	273,27	99,06	813,8187
02:17:26 p.m.	00:30	271,97	98,94	808,3064
02:47:26 p.m.	00:30	269,29	97,22	803,8218
03:17:26 p.m.	00:30	268,98	98,65	795,6934
03:47:26 p.m.	00:30	265,54	96,57	789,3402
04:17:27 p.m.	00:30	263,31	95,30	784,8556
04:47:27 p.m.	00:30	261,31	94,03	781,4454
05:17:27 p.m.	00:30	259,85	94,21	773,7841
05:47:27 p.m.	00:30	256,91	93,13	765,0952
06:17:27 p.m.	00:30	255,24	92,75	759,069
06:47:27 p.m.	00:30	252,91	92,37	749,9596
07:17:27 p.m.	00:30	250,53	91,91	740,9904
07:47:27 p.m.	00:30	248,76	91,91	732,7218
08:17:27 p.m.	00:30	246,45	91,36	724,5
08:47:27 p.m.	00:30	244,03	90,36	717,8665
09:17:27 p.m.	00:30	241,60	89,49	710,579

09:47:27 p.m.	00:30	239,36	88,70	703,8054
10:17:27 p.m.	00:30	236,86	87,78	696,4244
10:47:27 p.m.	00:30	234,58	87,17	688,623
11:17:27 p.m.	00:30	231,89	86,13	680,9151
11:47:27 p.m.	00:30	229,39	84,61	676,3371
12:17:27 a.m.	00:30	227,38	84,88	665,6861
12:47:27 a.m.	00:30	224,76	84,19	656,6701
01:17:27 a.m.	00:30	222,15	82,92	650,4103
01:47:27 a.m.	00:30	219,68	82,39	641,3477
02:17:27 a.m.	00:30	217,16	81,67	632,939
02:47:27 a.m.	00:30	214,56	80,52	626,1653
03:17:28 a.m.	00:30	211,94	79,58	618,3173
03:47:28 a.m.	00:30	209,37	78,75	610,1889
04:17:28 a.m.	00:30	206,49	77,89	600,7525
04:47:28 a.m.	00:30	203,97	76,65	594,773
05:17:28 a.m.	00:30	201,49	75,63	587,9526
05:47:28 a.m.	00:30	198,97	74,93	579,4505
06:17:28 a.m.	00:30	196,48	74,14	571,509
06:47:28 a.m.	00:30	194,63	75,84	554,9253
07:17:28 a.m.	00:30	192,28	78,11	533,343
07:47:28 a.m.	00:30	189,54	79,50	514,0498
08:17:28 a.m.	00:30	186,32	76,93	511,0133
08:47:28 a.m.	00:30	184,32	77,17	500,5492
09:17:28 a.m.	00:30	182,98	79,15	485,0399
09:47:28 a.m.	00:30	181,08	79,81	473,0809
10:17:28 a.m.	00:30	179,28	80,09	463,3642
10:47:28 a.m.	00:30	177,14	80,12	453,2271
11:17:28 a.m.	00:30	174,25	79,22	443,9309
11:47:28 a.m.	00:30	172,50	78,07	441,128
12:17:28 p.m.	00:30	170,53	77,12	436,3631
12:47:28 p.m.	00:30	168,73	76,34	431,5981
01:17:28 p.m.	00:30	166,69	75,43	426,3194
01:47:28 p.m.	00:30	164,47	74,45	420,5267
02:17:29 p.m.	00:30	162,42	73,92	413,4261
02:47:29 p.m.	00:30	159,87	72,15	409,7823
03:17:29 p.m.	00:30	157,42	70,40	406,5123
03:47:29 p.m.	00:30	154,81	68,91	401,2802
04:17:29 p.m.	00:30	152,58	67,75	396,2818
04:47:29 p.m.	00:30	149,85	66,57	389,041
05:17:29 p.m.	00:30	147,65	65,45	383,9958
05:47:29 p.m.	00:30	145,25	64,40	377,6893

06:17:29 p.m.	00:30	143,19	63,05	374,3725
06:47:29 p.m.	00:30	141,12	62,05	369,374
07:17:29 p.m.	00:30	138,97	61,02	364,142
07:47:29 p.m.	00:30	136,77	60,15	357,9289
08:17:29 p.m.	00:30	134,76	59,27	352,6501
08:47:29 p.m.	00:30	132,17	58,11	345,9699
09:17:29 p.m.	00:30	129,92	57,18	339,8035
09:47:29 p.m.	00:30	127,54	56,18	333,3569
10:17:29 p.m.	00:30	125,12	55,17	326,7701
10:47:29 p.m.	00:30	123,08	54,59	319,9497
11:17:29 p.m.	00:30	120,84	53,92	312,6155
11:47:29 p.m.	00:30	118,62	53,30	305,1412
12:17:29 a.m.	00:30	116,23	52,50	297,7135
12:47:29 a.m.	00:30	114,13	51,85	290,9399
01:17:30 a.m.	00:30	111,86	51,00	284,3063
01:47:30 a.m.	00:30	109,78	50,23	278,1867
02:17:30 a.m.	00:30	107,31	49,33	270,8525
02:47:30 a.m.	00:30	105,26	48,70	264,219
03:17:30 a.m.	00:30	103,08	47,98	257,3986
03:47:30 a.m.	00:30	100,89	47,07	251,4191
04:17:30 a.m.	00:30	98,81	46,32	245,206
04:47:30 a.m.	00:30	96,59	45,50	238,666
05:17:30 a.m.	00:30	94,63	44,94	232,1259
05:47:30 a.m.	00:30	92,70	44,27	226,2398
06:17:30 a.m.	00:30	90,97	43,61	221,2414
06:47:30 a.m.	00:30	89,20	43,27	214,5611
07:17:30 a.m.	00:30	87,33	42,90	207,5539
07:47:30 a.m.	00:30	85,72	42,92	199,9394
08:17:30 a.m.	00:30	83,86	43,19	189,9891
08:47:30 a.m.	00:30	82,57	43,22	183,8228
09:17:30 a.m.	00:30	81,36	44,03	174,3864
09:47:30 a.m.	00:30	79,93	45,14	162,5208
10:17:30 a.m.	00:30	78,02	45,01	154,2056
10:47:30 a.m.	00:30	76,32	45,16	145,5634
11:17:30 a.m.	00:30	74,78	44,13	143,1809
11:37:30 a.m.	00:30	48,91	45,13	17,6582
Total	74,61			81.607,55

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.4.11 Calor por los humos (Qh)

$$Q_h = m_{as} * C_p * \Delta T \quad \text{Ecuación 101.}$$

C_g : Calor específico de los gases de escape ($kJ/(kg-K)$) (ver tabla 35)

ΔT : Diferencia de temperatura entre los gases de escape y el medio ambiente

$$C_g = 0.23 + 0.00005 * T_{6i}^{106} \quad \text{Ecuación102.}$$

$$\dot{P}_g = C_c * P_{gu} \quad \text{Ecuación 103.}$$

\dot{P}_g : Peso de los gases producidos en la unidad de tiempo (kg/h)

C_c : Consumo de carbón (kg/h)

$P_{gu} \cdot M_{rm}$: kg de gases producidos por kg de carbón

El peso de los humos producidos por un kilogramo de carbón en unidad de tiempo será:

Remplazando:

$$\dot{P}_g = 4,18 \frac{kg}{h} * 33,8 \frac{kgHumos}{kgCarbón}$$

$$\dot{P}_g = 141,43 \frac{kgHumos}{h}$$

$$P_g = \dot{P}_g * t \quad \text{Ecuación104.}$$

$$P_g = 141,43 * 0,5$$

$$P_g = 70,71Kg \text{ De humos}$$

Reemplazando en la ecuación 101, para $T_{4l} = 66,75^\circ C$ y $T_{8e} = 27,27^\circ C$ (ver el tabla 35)

$$Q_h = 70,71 * 0,2333375(66,75 - 27,27) \quad Q_h = 651,45kJ$$

¹⁰⁶ SERRANO TRILLOS, Carlos. Estudio teórico práctico del proceso de combustión de los hornos de tiro invertido para el Chircal San Luis de Cúcuta. Cúcuta. 1980. 120 p. Trabajo de grado. (Ingeniero Mecánico). Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingenierías. Áreas Térmicas.

Tabla 35. Perdidas por humos.

Calor por Humos						
Hora de toma	N° de horas	Temperaturas			Calor específico (kJ/kg-K)	Q _h (kJ)
		Peso total (kg)	T _{di} Gases (°C)	T _{se} Amb. (°C)		
09:47:24 a.m.	0	4,445	66,06	26,27	0,233303	(kJ)
10:17:24 a.m.	00:30	4,445	66,75	27,27	0,2333375	651,452
10:47:24 a.m.	00:30	4,445	67,15	27,71	0,2333575	650,847
11:17:24 a.m.	00:30	4,445	67,58	28,64	0,233379	642,655
11:47:24 a.m.	00:30	4,445	66,49	29,87	0,2333245	604,226
12:17:24 p.m.	00:30	4,445	67,42	30,21	0,233371	614,083
12:47:24 p.m.	00:30	4,445	68,78	30,20	0,233439	636,878
01:17:24 p.m.	00:30	4,445	64,39	30,61	0,2332195	557,115
01:47:24 p.m.	00:30	4,445	65,40	30,17	0,23327	581,155
02:17:24 p.m.	00:30	4,445	68,64	31,33	0,233432	615,894
02:47:24 p.m.	00:30	4,445	69,96	29,01	0,233498	676,173
03:17:24 p.m.	00:30	4,445	70,25	26,99	0,2335125	714,36
03:47:24 p.m.	00:30	4,445	70,77	27,00	0,2335385	722,862
04:17:24 p.m.	00:30	4,445	70,23	27,12	0,2335115	711,88
04:47:24 p.m.	00:30	4,445	71,14	26,57	0,233557	736,133
05:17:24 p.m.	00:30	4,445	71,22	25,90	0,233561	748,533
05:47:25 p.m.	00:30	4,445	72,19	24,94	0,2336095	780,572
06:17:25 p.m.	00:30	4,445	73,01	24,05	0,2336505	808,963
06:47:25 p.m.	00:30	4,445	74,08	23,15	0,233704	841,706
07:17:25 p.m.	00:30	4,445	75,11	22,67	0,2337555	866,852
07:47:25 p.m.	00:30	4,445	77,73	22,34	0,2338865	916,13
08:17:25 p.m.	00:30	4,445	78,95	21,81	0,2339475	945,321
08:47:25 p.m.	00:30	4,445	79,75	21,19	0,2339875	968,979
09:17:25 p.m.	00:30	4,445	80,58	20,75	0,234029	990,169
09:47:25 p.m.	00:30	4,445	81,20	21,38	0,23406	990,134
10:17:25 p.m.	00:30	4,445	82,22	20,69	0,234111	1018,66
10:47:25 p.m.	00:30	4,445	84,63	20,74	0,2342315	1058,28
11:17:25 p.m.	00:30	4,445	81,91	20,13	0,2340955	1022,73
11:47:25 p.m.	00:30	4,445	82,83	20,72	0,2341415	1028,4
12:17:25 a.m.	00:30	4,445	84,51	20,50	0,2342255	1060,24
12:47:25 a.m.	00:30	4,445	86,33	20,09	0,2343165	1097,6
01:17:25 a.m.	00:30	4,445	88,42	19,89	0,234421	1136,05
01:47:25 a.m.	00:30	4,445	92,47	20,51	0,2346235	1193,94

02:17:25 a.m.	00:30	4,445	98,40	20,04	0,23492	1301,77
02:47:25 a.m.	00:30	4,445	107,93	20,47	0,2353965	1455,89
03:17:25 a.m.	00:30	4,445	117,93	19,39	0,2358965	1643,82
03:47:25 a.m.	00:30	4,445	131,83	18,78	0,2365915	1891,43
04:17:25 a.m.	00:30	4,445	150,88	18,98	0,237544	2215,69
04:47:25 a.m.	00:30	4,445	172,46	18,64	0,238623	2595,65
05:17:26 a.m.	00:30	4,445	197,37	18,48	0,2398685	3034,45
05:47:26 a.m.	00:30	4,445	232,71	17,85	0,2416355	3671,44
06:17:26 a.m.	00:30	4,445	267,96	18,36	0,243398	4296,18
06:47:26 a.m.	00:30	4,445	305,74	19,69	0,245287	4961,77
07:17:26 a.m.	00:30	4,445	344,72	19,96	0,247236	5677,99
07:47:26 a.m.	00:30	4,445	371,39	20,97	0,2485695	6159,67
08:17:26 a.m.	00:30	4,445	396,51	22,36	0,2498255	6610,02
08:47:26 a.m.	00:30	4,445	416,83	24,18	0,2508415	6965,07
09:17:26 a.m.	00:30	4,445	436,45	24,81	0,2518225	7330,48
09:47:26 a.m.	00:30	4,445	454,79	26,17	0,2527395	7660,66
10:17:26 a.m.	00:30	4,445	468,70	27,32	0,253435	7910,42
10:47:26 a.m.	00:30	4,445	481,74	27,74	0,254087	8157,53
11:17:26 a.m.	00:30	4,445	488,02	28,96	0,254401	8258,64
11:47:26 a.m.	00:30	4,445	490,12	29,63	0,254506	8287,79
12:17:26 p.m.	00:30	4,445	495,28	29,28	0,254764	8395,46
12:47:26 p.m.	00:30	4,445	506,16	29,88	0,255308	8598,99
01:17:26 p.m.	00:30	4,445	514,73	31,01	0,2557365	8747,97
01:47:26 p.m.	00:30	4,445	526,04	31,11	0,256302	8970,49
02:17:26 p.m.	00:30	4,445	537,15	33,90	0,2568575	9141,06
02:47:26 p.m.	00:30	4,445	549,45	35,35	0,2574725	9360,5
03:17:26 p.m.	00:30	4,445	560,50	35,99	0,258025	9570,53
03:47:26 p.m.	00:30	4,445	570,72	36,40	0,258536	9768,84
04:17:27 p.m.	00:30	4,445	581,83	30,86	0,2590915	10094,9
04:47:27 p.m.	00:30	4,445	591,26	30,38	0,259563	10295,2
05:17:27 p.m.	00:30	4,445	600,76	29,58	0,260038	10503,4
05:47:27 p.m.	00:30	4,445	608,00	27,77	0,2604	10684,7
06:17:27 p.m.	00:30	4,445	616,51	27,64	0,2608255	10861,5
06:47:27 p.m.	00:30	4,445	624,02	24,85	0,261201	11067,4
07:17:27 p.m.	00:30	4,445	628,81	23,82	0,2614405	11185,1
07:47:27 p.m.	00:30	4,445	633,12	23,49	0,261656	11280,2
08:17:27 p.m.	00:30	4,445	638,11	21,90	0,2619055	11412,8
08:47:27 p.m.	00:30	4,445	642,75	21,45	0,2621375	11517,3
09:17:27 p.m.	00:30	4,445	647,29	21,06	0,2623645	11618,8
09:47:27 p.m.	00:30	4,445	650,84	21,65	0,262542	11681,6
10:17:27 p.m.	00:30	4,445	651,95	21,44	0,2625975	11708,5

10:47:27 p.m.	00:30	4,445	651,20	20,77	0,26256	11705,4
11:17:27 p.m.	00:30	4,445	647,76	22,67	0,262388	11598,6
11:47:27 p.m.	00:30	4,445	644,57	21,41	0,2622285	11555,8
12:17:27 a.m.	00:30	4,445	640,70	20,79	0,262035	11487
12:47:27 a.m.	00:30	4,445	636,59	21,55	0,2618295	11387,9
01:17:27 a.m.	00:30	4,445	632,11	20,78	0,2616055	11309,5
01:47:27 a.m.	00:30	4,445	627,20	20,45	0,26136	11214,2
02:17:27 a.m.	00:30	4,445	622,07	19,72	0,2611035	11122
02:47:27 a.m.	00:30	4,445	616,57	20,49	0,2608285	10994,6
03:17:28 a.m.	00:30	4,445	610,90	19,12	0,260545	10903,4
03:47:28 a.m.	00:30	4,445	605,31	18,71	0,2602655	10796,4
04:17:28 a.m.	00:30	4,445	599,29	18,72	0,2599645	10673,1
04:47:28 a.m.	00:30	4,445	592,29	19,70	0,2596145	10512,2
05:17:28 a.m.	00:30	4,445	585,69	19,67	0,2592845	10378,4
05:47:28 a.m.	00:30	4,445	578,76	18,95	0,258938	10250,8
06:17:28 a.m.	00:30	4,445	571,07	19,81	0,2585535	10079,2
06:47:28 a.m.	00:30	4,445	563,83	21,17	0,2581915	9908,1
07:17:28 a.m.	00:30	4,445	556,55	22,86	0,2578275	9730,58
07:47:28 a.m.	00:30	4,445	549,46	24,74	0,257473	9553,88
08:17:28 a.m.	00:30	4,445	541,75	25,63	0,2570875	9383,23
08:47:28 a.m.	00:30	4,445	534,28	26,24	0,256714	9222,91
09:17:28 a.m.	00:30	4,445	525,57	27,07	0,2562785	9034,37
09:47:28 a.m.	00:30	4,445	518,90	27,39	0,255945	8896,1
10:17:28 a.m.	00:30	4,445	512,05	28,77	0,2556025	8735,43
10:47:28 a.m.	00:30	4,445	504,73	29,30	0,2552365	8581,24
11:17:28 a.m.	00:30	4,445	499,74	29,48	0,254987	8479,62
11:47:28 a.m.	00:30	4,445	491,40	30,85	0,25457	8290,95
12:17:28 p.m.	00:30	4,445	483,44	30,62	0,254172	8139,05
12:47:28 p.m.	00:30	4,445	476,26	30,51	0,253813	8000,66
01:17:28 p.m.	00:30	4,445	469,96	31,08	0,253498	7867,57
01:47:28 p.m.	00:30	4,445	463,21	30,32	0,2531605	7749,86
02:17:29 p.m.	00:30	4,445	458,23	30,45	0,2529115	7650,85
02:47:29 p.m.	00:30	4,445	453,49	28,12	0,2526745	7600,62
03:17:29 p.m.	00:30	4,445	450,14	27,44	0,252507	7547,9
03:47:29 p.m.	00:30	4,445	446,22	27,44	0,252311	7472,1
04:17:29 p.m.	00:30	4,445	443,17	27,63	0,2521585	7409,81
04:47:29 p.m.	00:30	4,445	441,46	27,07	0,252073	7386,8
05:17:29 p.m.	00:30	4,445	436,39	26,26	0,2518195	7303,51
05:47:29 p.m.	00:30	4,445	431,61	25,19	0,2515805	7230,57
06:17:29 p.m.	00:30	4,445	427,37	24,36	0,2513685	7163,86
06:47:29 p.m.	00:30	4,445	422,76	24,11	0,251138	7079,86

07:17:29 p.m.	00:30	4,445	418,24	24,49	0,250912	6986,55
07:47:29 p.m.	00:30	4,445	414,22	23,71	0,250711	6923,51
08:17:29 p.m.	00:30	4,445	410,38	23,58	0,250519	6852,48
08:47:29 p.m.	00:30	4,445	406,00	22,63	0,2503	6785,78
09:17:29 p.m.	00:30	4,445	401,89	22,39	0,2500945	6711,76
09:47:29 p.m.	00:30	4,445	398,25	21,97	0,2499125	6649,97
10:17:29 p.m.	00:30	4,445	393,91	21,89	0,2496955	6568,97
10:47:29 p.m.	00:30	4,445	389,84	22,36	0,249492	6483,52
11:17:29 p.m.	00:30	4,445	385,89	22,34	0,2492945	6409,1
11:47:29 p.m.	00:30	4,445	381,63	22,55	0,2490815	6324,89
12:17:29 a.m.	00:30	4,445	377,49	22,24	0,2488745	6252,23
12:47:29 a.m.	00:30	4,445	373,19	22,25	0,2486595	6171,04
01:17:30 a.m.	00:30	4,445	369,79	21,98	0,2484895	6111,82
01:47:30 a.m.	00:30	4,445	365,24	22,52	0,248262	6016,86
02:17:30 a.m.	00:30	4,445	360,94	20,35	0,248047	5974,29
02:47:30 a.m.	00:30	4,445	357,11	21,13	0,2478555	5888,88
03:17:30 a.m.	00:30	4,445	352,91	20,19	0,2476455	5826,8
03:47:30 a.m.	00:30	4,445	348,62	20,18	0,247431	5746,86
04:17:30 a.m.	00:30	4,445	344,50	20,40	0,247225	5666,2
04:47:30 a.m.	00:30	4,445	340,16	20,53	0,247008	5583,15
05:17:30 a.m.	00:30	4,445	335,86	20,49	0,246793	5503,94
05:47:30 a.m.	00:30	4,445	331,34	20,60	0,246567	5418,17
06:17:30 a.m.	00:30	4,445	327,10	21,03	0,246355	5332,15
06:47:30 a.m.	00:30	4,445	322,46	21,59	0,246123	5236,63
07:17:30 a.m.	00:30	4,445	317,77	22,14	0,2458885	5140,52
07:47:30 a.m.	00:30	4,445	313,76	22,62	0,245688	5058,32
08:17:30 a.m.	00:30	4,445	308,81	23,49	0,2454405	4952,21
08:47:30 a.m.	00:30	4,445	304,71	23,81	0,2452355	4871,42
09:17:30 a.m.	00:30	4,445	300,46	24,96	0,245023	4773,63
09:47:30 a.m.	00:30	4,445	295,60	25,81	0,24478	4670,06
10:17:30 a.m.	00:30	4,445	290,50	25,91	0,244525	4575,27
10:47:30 a.m.	00:30	4,445	285,35	26,76	0,2442675	4466,81
11:17:30 a.m.	00:30	4,445	273,67	26,31	0,2436835	4262,61
11:37:30 a.m.	00:30	4,445	44,63	26,87	0,2322315	129,629
Total	74,61					833.466,99

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.4.12 Pérdidas intangibles (Q_{in})

$$Q_{in} = Q_H - Q_T \text{ Ecuación 105.}$$

$$Q_{in} = (33,557 - 21,45) * 10^6$$

$$Q_{in} = 12,1 * 10^6 \text{ kJ}$$

Tabla 36. Balance Termodinámico del Horno Cuadrado.

Descripción	(kJ)	Porcentaje (%)
Calor de entrada	33.557.864,000	100
Acumulación de calor en mampostería	2.215.068,351	6,6
Calor por carga del material a coser	4.415.206,954	13,16
Calor por sacar la humedad del material	1.934.227,842	5,76
Calor por descomposición química de la arcilla	750.676,080	2,24
Calor por humedad del carbón	9.482.478,557	28,26
Calor por agua de combustión	527.062,172	1,57
Calor por humedad de aire	1.015.785,142	3,03
Calor por quemados	199.345,743	0,59
Calor por pared	81.607,553	0,24
Calor por los humos	833.466,986	2,48
Cantidad de calor total.	21.454.925,382	63,93
Calor por intangibles	12.102.938,618	36,07
Total	33.557.864,000	100

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.4.13 Rendimiento del horno

Este se determinara por:

5.4.13.1 Por el calor real utilizado para la cocción del material

$$\eta = \frac{Q_{cm} + Q_{wm} + Q_{dq}}{QT} * 100 \quad \text{Ecuación 106.}$$

$$\eta = \frac{4,41 * 10^6 + 1,93 * 10^6 + 750,67 * 10^3}{33,557 * 10^6} * 100$$

$$\eta = 21,16\%$$

5.4.13.2 Por cantidad de material cocido

$$\eta = \frac{QT}{\text{Peso.del.material}} \quad \text{Ecuación 107.}$$

$$\eta = \frac{33,557 * 10^6 \text{ kJ}}{9329 \text{ kg}}$$

$$\eta = 3597,16 \text{ kJ/kg De material}$$

Tabla 37. Resumen del balance térmico en los hornos ladrilleros de Ocaña analizados.

Tipo de horno	Hoffman	Circular	Cuadrado
Cantidad de productos por quema	29.040	4.300	2.200
Cantidad de carbón consumida	10.370,76	1.500	800
Descripción	(kJ)	(kJ)	(kJ)
Calor de entrada	435.026.308,249	62.920.995	33.557.864
Acumulación de calor en mampostería	265.781.217,940	3.475.910,925	2.215.068,351
Calor por carga del material a coser	104.355.480,381	14.030.638,626	4.415.206,954
Calor por sacar la humedad del material	12.037.053,988	4.023.334,899	1.934.227,842
Calor por descomposición química de la arcilla	16.632.511,122	99.587,122	750.676,080
Calor por humedad del carbón	11.176.681,151	16.467.708,174	9.482.478,557
Calor por agua de combustión	8.579.005,717	631.283,657	527.062,172
Calor por humedad de aire	6.750.666,213	1.216.999,949	1.015.785,142
Calor por inquemados	2.584.209,773	373.773,269	199.345,743
Calor por cúpula	5.408,207	-	-
Calor por pared	630.959,57	3.469.858,299	81.607,553
Calor por los humos	1.847.129,368	1.086.128,548	833.466,986
Cantidad de calor total.	430.380.323,426	44.875.223,467	21.454.925,382
Calor por intangibles	4.645.984,822	18.045.771,533	12.102.938,618
Total	435.026.308,249	62.920.995	33.557.864
Eficiencia Térmica del horno (%)	30,58	28,85	21,16
Eficiencia por cantidad de material cocido (KJ/Kg)	3597,16	3242,51	2809,95
Energía consumida por bloque en la cocción (KJ)	4,87*10 ³	4,36*10 ³	3,46*10 ³

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Gracias al balance térmico realizado en cada horno, se puede apreciar las grandes pérdidas de calor que se presentan a lo largo del proceso de cocción, Además se puede identificar en que zonas se están presentando más pérdidas, lo cual indica que la eficiencia energética tanto en el horno Hoffman, como en los hornos artesanales es relativamente baja, solo difiere en la cantidad de productos fabricados por quema.

También con los resultados obtenidos, las empresas ladrilleras podrán utilizar esta información como soporte técnico para mejorar su proceso de cocción, ya que sabrán donde intervenir recursos que mejoren la quema del producto (Como paredes aislantes en el interior del horno, ladrillos refractarios entre otros), contribuyendo en un ahorro energético y económico

Tabla 38. Resumen de las pérdidas presentes en los hornos apresadas en porcentajes.

Tipo de horno	Hoffman	Circular	Cuadrado
Descripción	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
Calor de entrada	100	100	100
Acumulación de calor en mampostería	61,10	5,52	6,6
Calor por carga del material a coser	23,99	22,30	13,16
Calor por sacar la humedad del material	2,77	6,39	5,76
Calor por descomposición química de la arcilla	3,82	0,16	2,24
Calor por humedad del carbón	2,57	26,17	28,26
Calor por agua de combustión	1,97	1,00	1,57
Calor por humedad de aire	1,55	1,93	3,03
Calor por inquemados	0,59	0,59	0,59
Calor por cúpula	0,0012	-	-
Calor por pared	0,15	5,51	0,24
Calor por los humos	0,42	1,73	2,48
Cantidad de calor total.	98,93	71,32	63,93
Calor por intangibles	1,07	28,68	36,07
Total	100	100	100

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015

En la tabla 38 comparativa, se puede apreciar de una manera más clara las pérdidas que se presentan en el proceso de cocción de cada horno, lo que indica que estas pérdidas dependen en gran medida de variables como son la humedad del material, el poder calorífico del carbón, propiedades de las paredes, humedad del carbón y proceso de combustión en el horno etc.

También se puede ver que la pérdida de calor en mampostería es mayor en el horno Hoffman que en los artesanales, debido al tamaño del horno, lo cual indica que esta pérdida puede ser controlada más fácil en los hornos rectangular y circular.

Otra pérdida importante que se presenta es la generada por la carga de material a cocer, la cual se puede originar por la humedad contenida en el producto antes de entrar al horno, esto indica que se puede implementar en los hornos artesanales secaderos artificiales para disminuir la humedad del material antes que entren al horno.

Además se presenta altas pérdidas debido a la humedad del carbón en las dos ladrilleras artesanales, lo cual se puede presentar por el no adecuado almacenamiento del combustible.

5.5 PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

De acuerdo con lo establecido en el artículo 76 de la Resolución 909 del 5 de junio de 2008 se debe cumplir con los estándares de medición directa de las emisiones a través de un ducto o chimenea que se debe construir en cada fuente fija puntual.

La medición directa se realiza a través de procedimientos donde se recolecta una muestra (Usando equipos muestreadores) para su posterior análisis (Analizador Isocinético) o mediante el uso de analizadores instrumentales (analizadores en tiempo real). En este caso se va a utilizar el método del analizador instrumental “Analizador de gases de combustión”.

El analizador instrumental es un equipo que mide directamente la concentración de los contaminantes en la chimenea o ducto de emisión y reporta los valores de las emisiones de manera inmediata.¹⁰⁷

5.5.1 Métodos empleados para la medición directa

En la tabla 39 se presentan los métodos empleados para evaluación de mediciones de emisiones de contaminantes. Promulgados por el Código Federal de Regulaciones de los Estados Unidos (CFR).

Tabla 39. Métodos empleados para evaluación de mediciones de emisiones de contaminantes.

Métodos	Descripción
Método 1	Ubicación del punto de muestro y Número de puntos de medición.
Método 2	Determinación de la velocidad de los gases de la chimenea.
Método 3	Análisis de las emisiones para determinar el porcentaje de dióxido de carbono (CO ₂), oxígeno (O ₂), monóxido de carbono (CO) y peso molecular seco. (Procedimiento del analizador instrumental)
Método 4	Determinación de las emisiones de óxidos de nitrógeno en fuentes fijas (Procedimiento del analizador instrumental)
Método 5	Determinación de las emisiones de monóxido de carbono en fuentes fijas (Procedimiento del analizador instrumental)
Método 6	Determinación de la emisión de material particulado en chimeneas o ductos de fuentes fijas.

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

¹⁰⁷ PROTOCOLO PARA EL CONTROL Y VIGILANCIA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA GENERADA POR FUENTES FIJAS. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. República de Colombia.2010.

5.5.2 Ubicación del punto de muestro y Número de puntos de medición

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios, el número de pruebas o corridas para la ejecución de los métodos para la evaluación de emisiones contaminantes en Fuentes Fijas utilizando el método del Analizador instrumental es de 3 corridas. Donde una corrida es igual a un número de 4 mediciones cada 15 minutos. Los puntos de medición establecidos en el horno Hoffman serán los 3 conductos insertados en la chimenea y para los hornos artesanales se harán mediciones tanto en las parees como en la parte superior del mismo.

De igual manera para la medición de gases en el horno Hoffman se debe cumplir ciertos requerimientos que se encuentran en la tabla 39.

Tabla 40. Instalaciones mínimas para la medición de medición directa.

Elemento	Descripción
Puertos de muestreo	Para la toma de las muestras o la medición directa de parámetros conforme al método de medición.
Plataforma de muestreo seguras	Deberán contar con un piso firme y soportar al menos el peso de tres personas y el equipo de muestreo. Estas plataformas deberán estar instaladas de forma permanente.
Acceso seguro a la plataforma de muestreo	Debe contar con escaleras residentes para el acceso del personal encargado de muestreo y de los equipos y contar con instrumentos que permitan la instalación adecuada de los instrumentos de medición.
Instalación para equipos de muestreo y análisis	De acuerdo con el método y procedimiento a utilizar. El establecimiento industrial debe facilitar un área limpia para la preparación de los equipos a utilizar. Cuando se emplean métodos de monitoreo continuo de emisiones, se debe destinar un espacio para la instalación de los analizadores, la realización de la calibración, el sistema de adquisición, procesamiento de datos y para el personal encargado de la operación del sistema.

Fuente: DAMIAN, Santiago & HERLYS, Cañizares. Diagnóstico de los procesos de combustión ejecutados en la industria cerámica en el área metropolitana de San José de Cúcuta. Universidad Francisco de paula Santander. Ingeniería Mecanica.2012

5.5.3 Mediciones con el Analizador de gases de combustión UEi EAGLE¹⁰⁸

Las mediciones con el analizador instrumental(Ver Figura 89), incluyen pruebas para la medición de CO (%), CO₂ (%), O₂ (%), NO (PPM), presión (mmHg, etc.), Temperatura (°C-°F), Exceso de aire (%), Relación CO/CO₂ y eficiencia de la combustión (%). También posee una gama de combustibles como Butano, Pellet, Propano, Gas natural, Diésel, gasolina.

Lista de comprobación previa (Ver figura 90)

- Limpiar el filtro de partículas.
- Revisar el colector de agua y línea de la sonda que estén vacías de agua.
- Todas las conexiones de las mangueras y termopares están debidamente asegurados.
- Que la sonda de gases de combustión este tomando muestras de aire fresco ambiente.
- Verificar que el colector de agua está instalado correctamente en el instrumento.
- Encender y esperar el tiempo de preparación del sensor en el analizador (60 seg.)

Dónde: 1-Puerto infrarrojo, 2- botón de encendido, 3- Botones de navegación, 4-Colector de agua, 5- cambio de menú, 6-Ubicación de la sonda de presión (P1-P2), 7-ubicación del termopar (T1-T2), 8- Sonda de entrada de gases (Ver figura 95).

Figura 90. Analizadorde gase de combustion UEi EAGLE.



Fuente: Fuente: JACOME, Sergio Armando. 2015.

¹⁰⁸ UEi, EAGLE. Analizadores de Combustión.

5.6 PRUEBA DE EMISIÓN DE GASES EN EL HORNO HOFFMAN

El horno Hoffman de la empresa ladrillera Ocaña cuenta con los requisitos establecidos para medición de emisiones, como se puede ver en la figura 90 la chimenea cuenta con los Niples “Ductos” requeridos, plataforma, escalera resistente para realizar el estudio y altura requerida.

Figura 91. Chimenea del Horno Hoffman.



Fuente: JACOME, Sergio Armando. 2015.

Figura 92. Niples (Ductos).



Fuente: JACOME, Sergio Armando. 2015.

Para la medición de gases en la chimenea del horno Hoffman se realizaron un total de 3 corridas, donde cada 15 min se registró los datos que el analizador media en cada ducto. Todas las tomas se encuentran en el ANEXO G.

Figura 93. Medición de emisiones en la chimenea.



Fuente: JACOME, Sergio Armando. 2015.

También se utilizó un anemómetro digital para medir la velocidad del flujo de gases en la chimenea, para este caso se realizaron mediciones cada media hora tomando registro en cada ducto (Ver figura 94).

Figura 94. Medición de la velocidad del flujo de gases en la chimenea.



Fuente: JACOME, Sergio Armando. 2015.

Tabla 41. Velocidad de los gases en la chimenea.

N°	8:30am	9:00am	9:30am	10:00am	10:30am	11:00am	Velocidad
1	5,76	5,12	5,35	4,27	2,4	5,44	m/s
2	5,17	5,23	4,5	3,23	1,4	4,64	
3	6,25	6,61	6,61	5,62	3,1	6,77	
Total	5,73	5,65	5,49	4,37	2,30	5,62	4,86

Fuente: JACOME, Sergio Armando. 2015.

5.7 PRUEBA DE EMISIÓN DE GASES EN EL HORNO CIRCULAR

Como este horno no cuenta con chimenea, se harán las mediciones en las paredes y en la sección superior (Ver figura 95), se realizarán un total de 3 corridas con tomas cada 15 minutos. Las corridas se encuentran en el ANEXO H.

Figura 95. Medición de gases a través de sondas en la sección superior del horno.



Fuente: JACOME, Sergio Armando. 2015.

Figura 96. Impresión del monitoreo.



Fuente: JACOME, Sergio Armando. 2015.

5.8 PRUEBA DE EMISIÓN DE GASES EN EL HORNO CUADRADO

Todos los hornos de la región a excepción del horno Hoffman de la ladrillera Ocaña, no poseen ninguna forma de extracción de gases (Chimenea), debido a esto no existe un método establecido para hacer mediciones en estos hornos. Para esta ladrillera se harán un total de 3 corridas, tomando mediciones cada 15 minutos en la parte superior del horno y pared, las tomas se encuentran en el ANEXO I.

Figura 97. Medición de gases a través de sonda de combustión y presión en la sección superior del horno.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Figura 98. Medición de gases en la pared del horno.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

5.9 REQUERIMIENTOS ESTABLECIDOS A LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE EMISIÓN

De acuerdo con lo establecido en la Resolución 909 del 5 de junio de 2008 en el Artículo 86 nos dice que todos los resultados de las mediciones de los diferentes contaminantes (en mg/m³), deben ser corregidos a condiciones de referencia por medio de la siguiente ecuación (ANEXO J.)

$$CCR = CCL \frac{TCL * PCR}{TCR * PCL} \quad \text{Ecuación 108.}$$

CCR: Concentración del contaminante a condiciones de referencia en mg/m³

CCL: Concentración del contaminante a condiciones locales en mg/m³

TCL: Temperatura de los gases a la salida del ducto en K

PCR: Presión a condiciones de referencia en mm Hg

PCL: Presión de los gases a la salida del ducto en mm Hg

TCR: Temperatura a condiciones de referencia en K

También en el Artículo 88 dice que todos los registros y mediciones de los diferentes contaminantes se le deben realizar la corrección de oxígeno de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$CCR(O2ref) = CCR \frac{21 - \%O2ref}{21\% - X\%} \quad \text{Ecuación 109.}$$

CCR (O2ref): Concentración del contaminante a condiciones de referencia con la corrección de oxígeno, basado en el oxígeno de referencia de conformidad con lo establecido en la presente resolución

CCR(X%): Concentración del contaminante a condiciones de referencia

%O2ref: Oxígeno de referencia de la medición, de conformidad con lo establecido en la presente resolución, en (%)

X%: Oxígeno medido a la salida de los gases, en (%)

A continuación se presentan todos los resultados obtenidos a través del monitoreo de gases realizados en los tres hornos, gracias al Analizadores de Combustión UEi EAGLE, donde los resultados se encuentran en las tablas presentes de los Anexos G-H-I, Además en el Anexo J, se encuentran los cálculos donde se llevan los resultados a condiciones de referencia estipulado por la resolución 909 ya mencionada y cálculo de material particulado.

Tabla 42. Monitoreo de gases a través de analizador instrumental en el horno Hoffman.

<i>TIPO</i>	<i>Resultados</i>	
<i>Horno</i>	<i>Horno Hoffman</i>	
<i>Producto</i>	<i>Ladrillo H-10*30 y H-10*40</i>	
<i>Combustible</i>	<i>Carbón Pulverizado</i>	
<i>Consumo de combustible (Ton/mes)</i>	<i>170</i>	
<i>Porcentaje de O₂</i>	<i>19,7</i>	La empresa Ladrillera Ocaña cuenta con una chimenea adecuada, donde la plataforma de muestreo es amplia y la escalera es fácil acceso para la medición de emisiones.
<i>CO (PPM)</i>	<i>237,22</i>	
<i>Porcentaje de CO₂</i>	<i>1,14</i>	
<i>NO (PPM)</i>	<i>25,14</i>	
<i>Presión (mmHg)</i>	<i>668,8</i>	
<i>Temperatura de gases (°C)</i>	<i>90,8</i>	
<i>Relación CO/CO₂</i>	<i>0,023</i>	
<i>X Exceso aire (%)</i>	<i>0</i>	
<i>Eficiencia del Horno (%n)</i>	<i>30,58</i>	
<i>Eficiencia por cantidad de material cocido (KJ/Kg)</i>	<i>2809,95</i>	

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Tabla 43. Resumen de Monitoreo Isocinético en la ladrillera Ocaña.

Contaminante	Kg/h	Concentración mg/ m ³			Norma mg/m ³
		Ccl	Ccr	Ccr O ₂ Ref	
Partículas	2.65	150.6	153.2	139.9	250
SO ₂	5,30	333.2	338.9	305.0	550
NOx	1,04	67.1	68.2	59,6	550
HCl	0,27	12.3	12.05	10,5	40
HF	0,07	2.99	2.87	2,6	8

Fuente: Vega, Anderson & Yulian, Cortes. Aprovechamiento de los Gases Generados por el Horno Hoffman para Mejorar la Zona de Secado en la Ladrillera Ocaña. Ingeniería Mecánica. 2014

Tabla 44. Monitoreo a través de Analizador instrumental.

Contaminante	Concentración mg/ m ³			Norma mg/m ³
	Ccl	Ccr	Ccr O ₂ Ref	
NO	32,22	11,5	76.66	550
CO	337	116,68	777,69	No Aplica

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Tabla 45. Evaluación de los gases emitidos por la ladrillera Ocaña frente a la norma.

Parámetro	Unidades	Norma	Valor medido	% de la Norma	Cumple
Material particulado	mg/m ³	250	139.9	51	SI
Dióxido de azufre	mg/m ³	550	305.0	11.9	SI
Óxido de nitrógeno	mg/m ³	550	59.6	9.7	SI
Ácido clorhídrico	mg/m ³	40	10.5	31.5	SI
Ácido fluorhídrico	mg/m ³	8	2.6	40	SI
Temperatura	°C	180	90,8	62,1	SI
Flujo volumétrico de gases	m ³ /min	x	289,5	x	x
Velocidad de los gases	m/s	x	6,5	x	x
Presión de los gases de salida	atm	x	0,88	x	x
Altura de la chimenea	m	13,8	18,5	x	SI

Fuente: Vega, Anderson & Yulian, Cortes. Aprovechamiento de los Gases Generados por El Horno Hoffman para Mejorar la Zona de Secado en la Ladrillera Ocaña. Ingeniería Mecánica. 2014

Tabla 46. Evaluación de gases a través de analizador instrumental.

Parámetro	Unidades	Norma	Valor medido	Cumple
Dióxido de carbono	%	18,5	1,14	SI
Óxido Nítrico	mg/m ³	550	76,66	SI
Monóxido de carbono	mg/m ³	550	777,69	No Aplica.

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Observaciones de la evaluación de emisiones en el horno Hoffman:

La empresa cuenta con los requerimientos estipulados por la norma para la medición de emisiones en fuentes fijas, la plataforma es adecuada y la chimenea cuenta con tres Niples ubicados de forma correcta para el fácil monitoreo a través del analizador de gases de combustión.

Respecto a los límites máximos de emisiones, la empresa no sobrepasa ninguno de los límites máximos de material particulado, dióxido de carbono, dióxido de azufre, óxido nítrico, ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico estipulados por la norma, además la temperatura de los gases se encuentra en un 55,4% por debajo del valor máximo permisible para fuentes fijas.

Tabla 47. Monitoreo de gases a través de analizador instrumental en el horno el Recreo 2.

TIPO	Resultados	
Horno	<i>Circular</i>	
Producto	<i>Bloque común y Ladrillo H-10</i>	
Combustible	<i>Carbón Mineral</i>	
Consumo de combustible (Ton/mes)	3	<p>La ladrillera no posee chimenea, lo cual hace difícil el tipo de medición directa a seguir, por lo cual se hicieron mediciones en la parte superior del horno y en los escapes de gases a través de las paredes.</p>
Porcentaje de O₂	12,91	
CO (PPM)	3721,69	
Porcentaje de CO₂	8,65	
NO (PPM)	18,15	
Material particulado (Ton/Año)	4,034	
Presión (mmHg)	0,1971	
Temperatura de gases (°C)	627,75	
Relación CO/CO₂	0,387	
X Exceso aire (%)	175,02	
Eficiencia de la combustión (%)	88,78	
Eficiencia del Horno (%n)	28,85	
Eficiencia por cantidad de material cocido (KJ/Kg)	3242,51	

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Tabla 48. Monitoreo a través de Analizador instrumental.

Contaminante	Concentración mg/ m³			Norma mg/m³	Cumple
	Ccl	Ccr	Ccr O₂ Ref		
CO	4590	N.A	1702,1	43,2	NO
NO	23,98	N.A	8,89	550	SI
SO ₂	N.A	N.A	N.A.	550	N.A

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

N.A: No Aplicado.

Tabla 49. Evaluación de gases en la ladrillera el Recreo 2 frente a la norma.

Parámetro	Unidades	Norma	Valor medido	% de la Norma	Cumple
Material particulado	Ton/Año	x	4,034	51	x
Dióxido de azufre	mg/m ³	550	x	11.9	x
Óxido de nítrico	mg/m ³	550	8,89	9.7	SI
Dióxido de carbono	%	18,5	8,65	x	SI
Monóxido de carbono	mg/m ³	43,2	1702,1	x	NO
Exceso de aire (Recomendado)	%	62	175,02	x	NO
Temperatura	°C	250	627,75	62,1	NO
Chimenea adecuada	x	1	x	x	NO
Presión de los gases de salida	atm	x	0,1971	x	x

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015

Observaciones de la evaluación de emisiones en el horno Circular:

La empresa no cumple con los parámetros establecidos por la norma para el monitoreo de emisiones contaminantes, el horno no cuenta con chimenea, plataforma y escalera adecuada que facilite la medición de las concentraciones de gases generadas en la combustión del carbón.

Respecto a las emisiones de gases emitidas a la atmosfera, las concentraciones de óxido nítrico y dióxido de carbono se encuentran por debajo de los límites recomendados, pero el monóxido de carbono es excesivamente alto por la mala combustión del carbón en el interior del horno y la temperatura de los gases sobrepasa un 251,1% el valor permisible.

También se presenta un exceso de aire mayor del valor recomendado, lo cual genera una mala combustión en el proceso de cocción y pérdidas de combustible en las cenizas sobrantes, por no quemarse completamente el carbón.

Tabla 50. Monitoreo de gases a través de analizador instrumental en el horno el Estanco.

TIPO	Resultados	
<i>Horno</i>	<i>Cuadrado</i>	
<i>Producto</i>	<i>Bloque común y Ladrillo H-10</i>	
<i>Combustible</i>	<i>Carbón Mineral</i>	
<i>Consumo de combustible (Ton/mes)</i>	<i>1,6</i>	
<i>Porcentaje de O₂</i>	<i>10,61</i>	Este horno no cumple con ningún requerimiento técnico, carece de chimenea lo que hace difícil el muestreo referente a fuentes fijas, en su diseño no cuenta con una chimenea, plataforma y escalera adecuada para la medición de los gases que emite a la atmosfera.
<i>CO (PPM)</i>	<i>Alto (4000)</i>	
<i>Porcentaje de CO₂</i>	<i>10,37</i>	
<i>NO (PPM)</i>	<i>78,8</i>	
<i>Material particulado (Ton/Año)</i>	<i>0,343</i>	
<i>Presión (mmHg)</i>	<i>0,1354</i>	
<i>Temperatura de gases (°C)</i>	<i>651,95</i>	
<i>Relación CO/CO₂</i>	<i>0,3315</i>	
<i>X Exceso aire (%)</i>	<i>100,03</i>	
<i>Eficiencia de la combustión (%)</i>	<i>87,7</i>	
<i>Eficiencia del Horno (%n%)</i>	<i>21,16</i>	
<i>Eficiencia por cantidad de material cocido (KJ/Kg)</i>	<i>3597,16</i>	

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Tabla 51. Monitoreo a través de Analizador instrumental.

Contaminante	Concentración mg/ m³			Norma mg/m³	Cumple
	Ccl	Ccr	Ccr O₂ Ref		
CO	4933	N.A	1424,35	43,2	NO
NO	104,1	N.A	30,05	550	SI
SO ₂	N.A	N.A	N.A.	550	N.A

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

N.A: No Aplicado.

Tabla 52. Evaluación de gases de la ladrillera el Estanco frente a la norma.

Parámetro	Unidades	Norma	Valor medido	% de la Norma	Cumple
Material particulado	Ton/Año	x	0,343	51	x
Dióxido de azufre	mg/m ³	550	x	11.9	x
Óxido de nítrico	mg/m ³	550	30,05	9.7	SI
Dióxido de carbono	%	18,5	10,37	x	SI
Monóxido de carbono	mg/m ³	43,2	1424,35	x	NO
Exceso de aire	%	62	100,03	x	NO
Temperatura	°C	250	651,95	62,1	SI
Chimenea adecuada	x	1	x	x	NO
Presión de los gases de salida	atm	x	0,1354	x	x

Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Observaciones de la evaluación de emisiones en el horno rectangular:

Esta ladrillera no cumple con los requerimientos exigidos para el monitoreo de emisiones como fuente fija productora de elementos cerámicos, el diseño del horno genera una mala combustión del carbón por no contar con una buen tiraje (chimenea), produciendo emisiones de gases muy contaminantes al ambiente, como el monóxido de carbono.

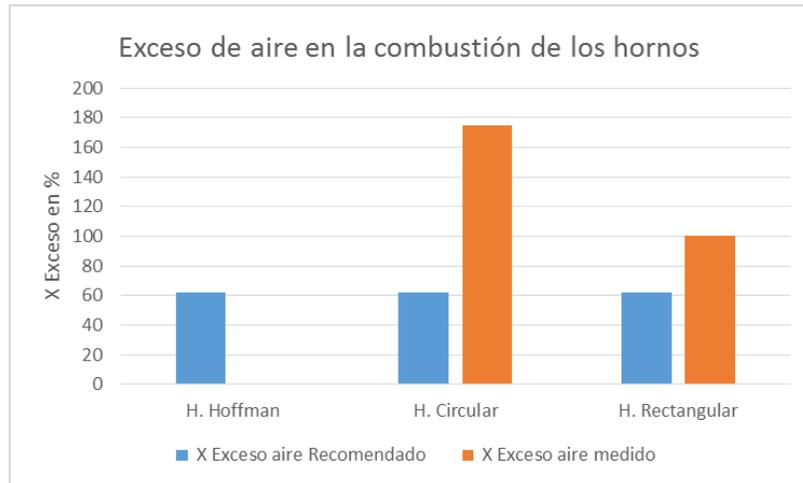
Las emisiones de óxido nítrico y dióxido de carbono se encuentran en un 5,4% y 56% respectivamente por debajo de los valores recomendados por la norma, pero la temperatura de los gases sobrepasan el valor máximo estipulado por la resolución y el exceso de aire es alto, generando una combustión incompleta y pérdidas de combustible por no quemarse todo el carbón distribuido entre los bloques.

5.10 RESUMEN DE LAS EMISIONES DE GASES GENERADAS EN LOS HORNOS

En las siguientes graficas se compara los resultados de las tablas 42 a 52, obtenidos a través del monitoreo de emisiones para fuentes fijas, dedicadas a la producción de elementos cerámicos en el municipio de Ocaña, lo cual permitirá ver de la mejor manera los resultados obtenidos. Además los resultados fueron evaluados bajo la resolución 909 de 2008, donde se establecen los limites admisibles para este tipo de industria.

Como se puede apreciar en la gráfica 1, se presenta el exceso de aire producto de la combustión del carbón en los tres hornos, donde en los hornos artesanales se sobrepasa el 62% del valor recomendado para generar una combustión estequiométrica. Además esto hace que se pierda mucha energía del carbón en calentar nitrógeno del aire que se va escapando al medio ambiente.

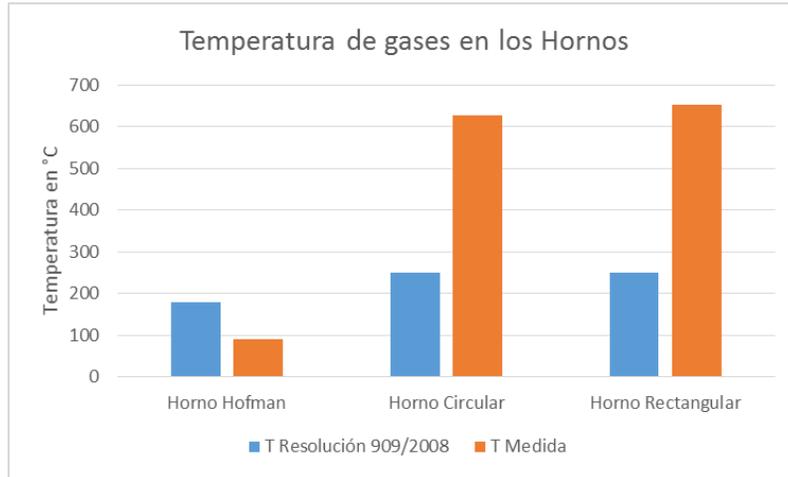
Gráfica 1. Exceso de aire en la combustión de los hornos ladrilleros.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

En la gráfica 2 se muestra las temperaturas máximas alcanzadas por los gases emitidos en todo el proceso de cocción de los tres hornos, se puede apreciar que solo el horno Hoffman de la ladrillera Ocaña cumple el requerimiento establecida por la resolución y las otras dos ladrilleras deben mejorar su valor ya que es excesivamente alto y viola el reglamento ambiental.

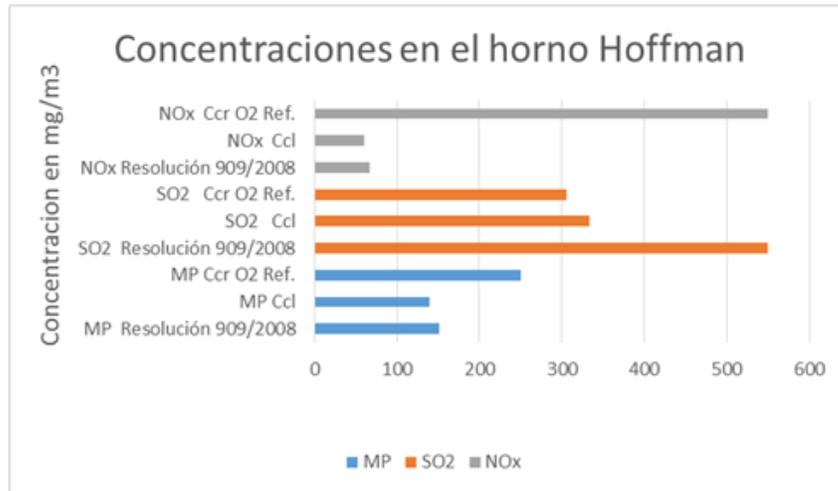
Gráfica 2. Temperaturas máximas alcanzadas por los gases emitidos en los hornos.



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

En la gráfica 3 se muestran la concentración de gases emitidos en la ladrillera Ocaña a condiciones locales, condiciones a oxígeno de referencia, a 25 °C, 18% de Oxígeno y 760 mm Hg, Que deben ser verificadas para evaluar si dichas emisiones están cumpliendo con los límites establecidos en la resolución, además se observa que esta empresa cumple con los límites referente a Óxidos de Nitrógeno, Óxidos de azufre y material Particulado.

Gráfica 3. Concentraciones principales generadas en la ladrillera Ocaña

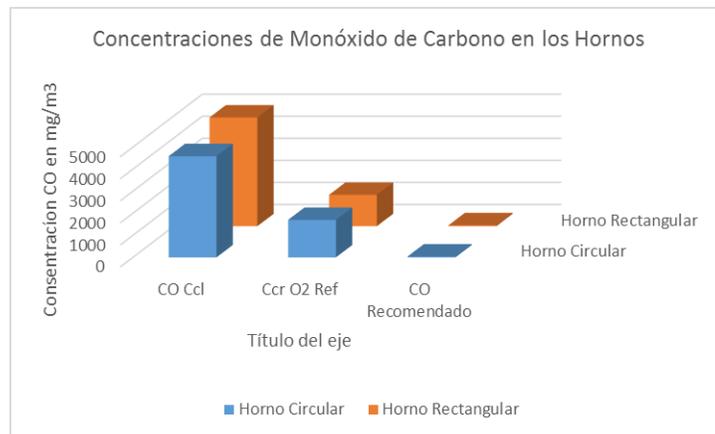


Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

En la gráfica 4 se puede apreciar claramente las altas concentraciones de monóxido de carbono emitidas por estos hornos debido a que no se presenta una combustión adecuada en el proceso de cocción del bloque, esto puede ser debido a que el combustible se quema sin suficiente oxígeno, en este caso los hornos no cuentan con chimeneas que ayuden a mejorar la quema y disminuyan las emisiones contaminantes.

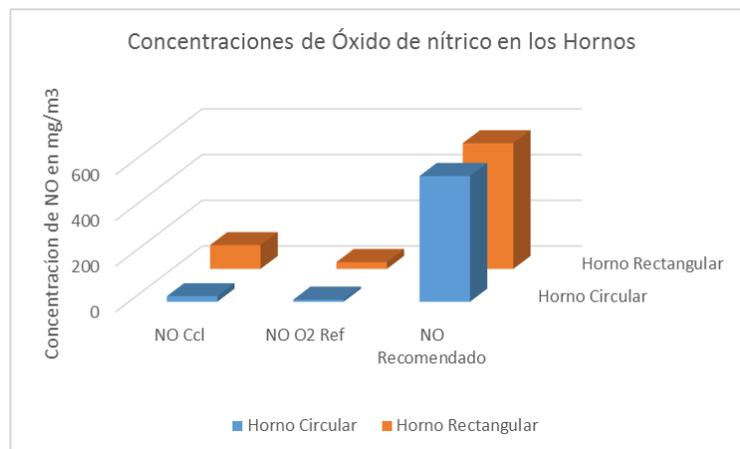
Así las empresas ladrilleras cumplan con algunos límites de contaminantes (Ver grafica 5), Estas deben mejorar sus proceso de combustión, para que las emisiones generadas estén por debajo de las concentraciones máximas estipuladas por agentes ambientales. En este caso las emisiones de óxido nítrico están por debajo de la norma de calidad el aire.

Gráfica 4. Concentración de CO presente en Horno Circular y rectangular



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

Gráfica 5. Emisiones de Óxido nítrico en los hornos Circular y Rectangular



Fuente: JACOME, Sergio Armando.2015.

6. CONCLUSIONES

En las empresas dedicadas a la producción de elementos cerámicos de Ocaña, solo se encontraron 3 tipos d hornos: Hoffman, Circular y Rectangular, donde el 80,66 % es de tipo Rectangular, el 18,34% tipo Circular y solo el 1% tipo Hoffman. Gracias al balance de energía en cada Horno, se concluye que el más eficiente es el horno Hoffman de la ladrillera Ocaña con un rendimiento del 30,58%, seguido del horno Circular de la ladrillera el Recreo dos con un rendimiento del 28,85% y el horno cuadrado de la ladrillera el Estanco cerca a la vía Circunvalar con un rendimiento del 21,16 %, donde en la mayoría de los hornos del municipio se utiliza el carbón mineral como combustible de cocción del material de mampostería.

En la tabla 38 Comparativa del balance térmico en los hornos se puede concluir que las pérdidas más importantes que se presentaron en los hornos fueron:

El horno Hoffman el calor por la acumulación en mampostería represento un total de 61,1% del calor de entrada y un calor por carga de material a cocer un total de 23,99%.

En el horno circular los calores de mayor magnitud fueron el calor por carga de material a cocer con un 22,3% del calor de entrada, calor por la humedad del carbón con un 26,17 % ya sea por el no adecuado almacenamiento del combustible, el calor por la acumulación en mampostería con un 5,52% que puede ser mejorado ya sea implementando paredes aislantes interiores del horno o utilización de ladrillos refractarios y calor a través de las paredes con un 5,51%.

En el horno de sección rectangular el calor más grande se presentó por la humedad del carbón con un 28,26%, también en el calor por carga del material a cocer, con un total de pérdidas de 13,16%, en la acumulación de calor en mampostería con un total 6,6% y finalmente el calor necesario para sacar la humedad del material con un 5,76% del calor de entrada.

Solo el horno Hoffman de la ladrillera Ocaña respecto a los otros dos hornos analizados, presenta bajos índices de emisión como cumplimiento de los requerimientos establecidos por la resolución 909 de 2008, en total presento concentraciones de un 55,45% de Dióxido de Azufre por debajo de los límites normativos máximos, un 55,96 % por debajo del límite máximo de Material Particulado, un 10,83% en Óxido de Nitrógeno por debajo de la norma, la temperatura de la chimenea se encuentra en un 50,44% por debajo a limite admisible.

En el horno circular las emisiones de Óxido Nítrico se encuentran en un 1,61% por debajo de la norma, un 46,75% en Dióxido de Carbono por debajo de los limites, además no cumple con los valores requeridos para el monóxido de carbono, chimenea y la temperatura de los gases provenientes de la combustión se exceden en un 251,1%

En el horno rectangular las emisiones de Óxido Nítrico se encuentran en un 5,46% por debajo al límite máximo, un 56,05% de Dióxido de Carbono por debajo de la norma, pero no cumple con los valores admisibles por emisiones de Monóxido de Carbono, la temperatura de los

gases de combustión se exceden en un 260,78% del valor exigido y tampoco cuentan con una chimenea adecuada para el monitoreo de los gases contaminantes emitidos a la atmosfera.

La empresa ladrillera Ocaña es la única que cumple con todos los parámetros establecidos por la normativa ambiental vigente para emisión por fuentes fijas. A diferencia de los otros dos tipos de hornos estudiados (Circular y Cuadrado), no cumplen con todos los requisitos establecidos por los agentes ambientales y por lo tanto son objeto de investigación de COORPONOR, por no regular dichas emisiones y parámetros establecidos en norma ambiental vigente, además estas pequeñas empresas se exponen a sanciones legales y posible cierre de sus instalaciones.

Además gracias a la medición de los gases, se encontró que los hornos artesanales presentan un alto exceso de aire mayor al 62% recomendado para la combustión del carbón, donde el horno circular esta un 282,2% de exceso de aire por encima del valor requerido y el Circular se encuentra un 161,38% de aumento. De esta manera el fenómeno ocasiona que el proceso de combustión del carbón no sea completa.

Como se observó en la tabla 38, los calores por pérdidas intangibles se presentaron en altos porcentajes en los hornos artesanales, lo que indica que en estas pérdidas se pueden trabajar más a fondo, para el horno circular se presentó un calor del 28,68% del calor de entrada y en el cuadrado un 36,07%, siendo el calor más alto presentado en los tres análisis, en el horno Hoffman se presentó un calor por perdidas intangibles del 1,07 % relativamente bajo comparado con los anteriores.

7. RECOMENDACIONES

Sería bueno que todo el sector ladrillero de Ocaña conozca todos los requerimientos establecidos por el ministerio de ambiente y desarrollo territorial para la producción de elementos cerámicos en fuentes fijas, mediante charlas o capacitaciones prestadas por el municipio que permitan que el dueño de la ladrillera comprenda la problemática que se presenta por este sector industrial y de esta manera plantee soluciones al problema.

A la hora de que esta pequeña industria se disponga a comprar carbón, se recomienda a los dueños de los hornos cerciorarse de que el combustible que se vaya a adquirir tengan las mejores propiedades térmicas, requeridas en el proceso de cocción, contribuyendo en el ahorro de combustible y mejora del producto final.

Seria provechoso que los hornos del sector ladrillero de la región, empezaran a implementar sistemas de monitoreo continuo en el proceso de cocción (sensores de adquisición y monitoreo a través de termopares), los cuales conlleven a un desarrollo tecnológico de la empresa.

Se recomienda la implementación de ventiladores adecuados para el proceso de cocción de sus productos, como herramienta técnica en los hornos tradicionales que permitan mejorar el proceso de combustión, ya que disminuiría las emisiones emitidas al ambiente, se reduciría la cantidad de combustible empleado y se homogenizaría todo el calor en el interior del horno.

También se recomienda a las ladrilleras artesanales, rediseñar el horno actual que poseen, ya que es muy antiguo y no cumplen con los requerimientos actuales, se debe implementar una chimenea que es un elemento importante en este sector, que mejore la combustión del carbón y disminuya las emisiones emitidas a la atmosfera.

Además sería muy bueno gestionar proyectos con el programa de eficiencia energética para ladrilleras (EELA) que contribuyan con el mejoramiento de los hornos del municipio, sistema de producción artesanal, implementación de nuevos combustibles como gas natural que es más limpio, ya que la mayoría de los productores no cuenta con los recursos para el cambio que exige la actualidad a este sector.

BLOGRAFÍA

British Estándar Test Code, Normas para el cálculo del balance térmico en hornos de ladrillo.

CAEN y SWISSCONTACT. Estudio tecnológico para definir el tipo de tecnología de horno apropiada para la reconversión de las ladrilleras artesanales, ingeniería básica y supervisión del montaje. Nemocón. 2011. 100 pág.

CENGEL, Yunus A. Termodinámica. 6 ed. México: Mc Graw-Hill, 2009. 910 p.

CONSEJERÍA DEL MEDIO AMBIENTE. Métodos de medida no normalizados: medidas de gases de combustión mediante células electroquímicas. Unión Europea.

DONALD, Kern. Procesos de transferencia de calor. Magraw Hill. México .1999.

GALLEGOS, Aracelly. LANG, Benjamín. FERNÁNDEZ, Miguel y LUJAN, Marcos. Contaminación atmosférica de ladrillos y sus posibles efectos sobre la salud de los niños de las zonas aledañas. Bolivia, 2008, 19 pág. Universidad Católica Boliviana. Departamento de ciencias exactas de ingeniería.

INCROPERA, Frank P. Fundamentos de la transferencia de calor, 4 ed. México: Prentice Hall, 1999. p. 92

GUERRERO GÓMEZ, Gustavo. Hornos de combustión: Alternativas de reducción de emisiones e incremento de rentabilidad. (Ingeniero Mecánico). universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Facultad de Ingeniería Mecánica.

MARRUGO C. Daniel Ernesto. Desarrollo de un instrumento virtual para la generación de perfiles de temperatura en hornos. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Ingeniería Mecánica. 2015.

MANUAL DE INSTRUCCIONES. Analizadores de Combustión EAGLE™.

MÁRQUEZ, Roberto. Operación y mantenimiento de hornos tipo MK-2.

MENESES, Calderón. JOSÉ Agustín. Evaluación de las Perdidas de Energía en los Hornos tipo Colmena de Tiro Invertido. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingeniería. Plan de estudios de Ingeniería Mecánica San José de Cúcuta. 2003.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 909 del 5 de junio de 2008.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 802 de 2014.

NATIONAL INSTRUMENTS.

PAYAREZ PEREZ; Carlos. Estudio de La Relación entre las Propiedades Físicas finales de los Bloques Cerámicos para Mampostería y los Perfiles de Temperatura presentados en el Horno durante su Cocción en la Ladrillera Ocaña. Trabajo de grado. Ingeniería Mecánica. Ocaña N.S: Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de Ingenierías. 2014.

PROTOCOLO PARA EL CONTROL Y VIGILANCIA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA GENERADA POR FUENTES FIJAS. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. República de Colombia.2010.

PROGRAMA EFICIENCIA ENERGETICA EN LADRILLERAS ARTESANALES – EELA. Caracterización de los Hornos usados en la Industria Ladrillera. Colombia. 2011.

ROJAS CASTILLO, Óscar y RODRÍGUEZ MONTAÑA, Nelson. Características de hornos para productos cerámicos del parque minero Industrial El machuelo. (Junio de 2004).

LA RESOLUCIÓN 909 del 5 de junio de 2008

SANTIAGO PÉREZ, Damián y CAÑIZARES TORRES, herlys. Diagnóstico de los procesos de combustión ejecutados en la industria cerámica en el área metropolitana de San José de cúcuta.2012. 167 Pág.

SERRANO TRILLOS, Carlos. Estudio teórico práctico del proceso de combustión de los hornos de tiro invertido para el Chircal San Luis de Cúcuta. Cúcuta. 1980. 120 p. Trabajo de grado. (Ingeniero Mecánico). Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingenierías. Área de Térmicas.

SUMA QUISPE, Celso. GUTIÉRREZ SAMANES, Julio y SUMA QUISPE, Rodolfo. Estudio de definiciones de tipo de horno apropiado para el sector ladrillero. 2008. 61 Pág.

TAMAYO Y TAMAYO, Mario. El proceso de la Investigación Científica: 4a edición. México. LIMUSA, 2003. 175 Pág. CANIEM; N° 121. ISBN 968-18-5872-7

TYLER, Nick. ACEVEDO, Jorge. BOCAREJO, Juan. Y VELÁSQUEZ, Migue. University college Y London y Universidad de los Andes. Marco Teórico de contaminación atmosférica en Colombia. 2013. 35 Pág.

UEi, EAGLE. Analizador de gases de combustión. 2007.

VEGA, Mohalem, Anderson & YOLIAN Cortes Díaz. Aprovechamiento de los gases generados por el horno Hoffman para mejorar la zona de secado en la ladrillera Ocaña. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Ingeniería mecánica. Ocaña. 2014

VERA Duarte, Luis Emilio. Evaluación de las pérdidas de energía en los hornos tipo colmena de tiro invertido en la ladrillera Cúcuta. Universidad Francisco de Paula Santander. Facultad de ingeniería. 2003.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

AGUILAR, María. CÓRDOBA, Gustavo y GÓMEZ, Luis. Estudio urbano-ambiental de las ladrilleras en el municipio de Juárez: Estudios fronterizos. En: Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. [En línea]. (2004). Disponible en: < <http://www.redalyc.org/pdf/530/53050901.pdf> > [Citado el 12 de febrero de 2015]

CELEDÓN, Nohora. OPL, Salsán y hora Ltda. Recibieron distinción como “gacelas” Empresariales. EN: vanguardia. Periódico en línea. (29 de octubre de 2011). Disponible en: < <http://www.vanguardia.com/economia/local/129045-opl-salsan-y-hora-ltda-recibieron-distincion-como-gacelas-empresariales> >

GARCIA, Cesar. VACA, Martha Y TALERO, Gabriel. Aprovechamiento de biomasa peletizada en el sector ladrillero en Bogotá. En: Artículo sobre Análisis Energético y Ambiental. [En línea]. (2013). Disponible en: <http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071807642013000300013&script=sci_arttext&tlng=e> [Citado el 16 de febrero de 2015]

HORNO ECOLÓGICO. Como evitamos la contaminación [En línea]. (Junio de 2008). Disponible en: < <https://ladrillo.wordpress.com/tag/horno-ecologico/>>

LA COOPERACIÓN SUIZA E PERÚ. Premio internacional de excelencia para el proyecto de eficiencia energética en ladrilleras artesanales (EELA). [En línea]. Disponible en: <http://cooperacionsuizaenperu.org.pe/cosude-proyectos/proyectos-programa-globalcambioclimatico/eela/proyectednoticias/1129?utm_source=boletincosude&utm_campaign=edicion14122012&utm_medium=email > [Citado el 10 de febrero de 2015]

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. Elaboración de Proyectos de Guías de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico energético. Industria Cerámica. [En línea]. (Mayo de 2008). Disponible en: <<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Guia12%20Cer%C3%83%C2%A1micos.pdf>> [Citado el 15 de febrero de 2015]

MILIARIUM. Propiedades térmicas de materiales. [En línea]. (2013). Disponible en: < <http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp> > [Citado el 10 de Mayo de 2015]

MINAMBIENTE. Ambiente y Desarrollo Sostenible [En línea]. (Febrero de 2015). Disponible en:

<<https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=1655:minambiente-lanza-proyecto-de-pago-por-servicios-ambientales> > [Citado el 15 de febrero de 2015]

NASA. Surface meteorology and Solar Energy. [En línea]. Disponible en:<<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=8.14&lon=73.21&submit=Submit>> [Citado el 24 Mayo de 2015]

PORTAL DE LABOR DEL SISTEMA DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto [En línea]. <http://cooperacionsuizaenperu.org.pe/cosudeproyectos/proyectosprogramaglobalcambioclimatico/eela/proyectonoticias/1129?utm_source=boletincosude&utm_campaign=edicion14122012&utm_medium=email > [Citado el 12 de febrero de 2015]

SIAC. Sistema de información Ambiental Colombiana. Fuentes Contaminantes. [En línea]. (2013). Disponible en: <<https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=462&conID=614>> [Citado el 19 de febrero de 2015]

UNAD. Universidad nacional abierta y a Distancia. Convenios Internacionales relacionados con contaminantes atmosféricos. [En línea]. Disponible en: <http://dateca.unad.edu.co/contenidos/358007/Contenido_en_linea_Caraterizacion/leccin_30_legislacin_ambiental_nacional_y_convenios_internacionales_relacionados_con_contaminantes_atmosfricos.html>

UPME. Unidad de Planeación Minero Energética. Determinación de la Eficiencia Energética del Subsector Industrial de Ladrillo, Vidrio y Cerámica. [En línea]. (Octubre de 2001). Disponible en : <http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/ure/estudios/EstudiosEficiencia_LadrilloVidrioCeramica.pdf > [Citado el 15 de febrero de 2015]

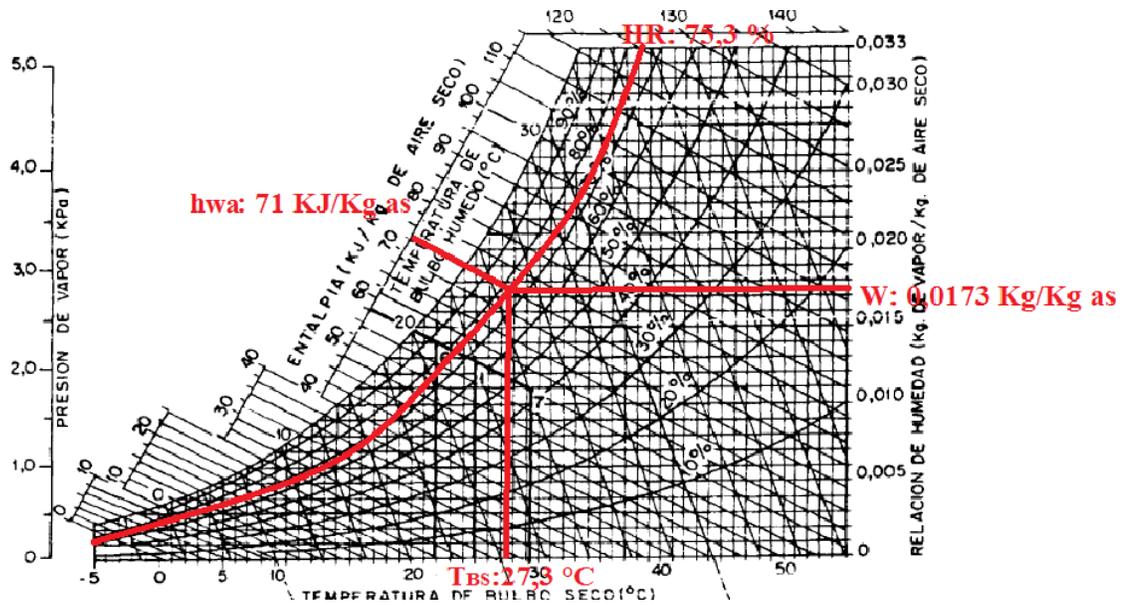
VASA.Software. [En línea]. Disponible en: <http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/fis/condutermica.pdf> [Citado el 22 mayo de 2015]

ANEXOS

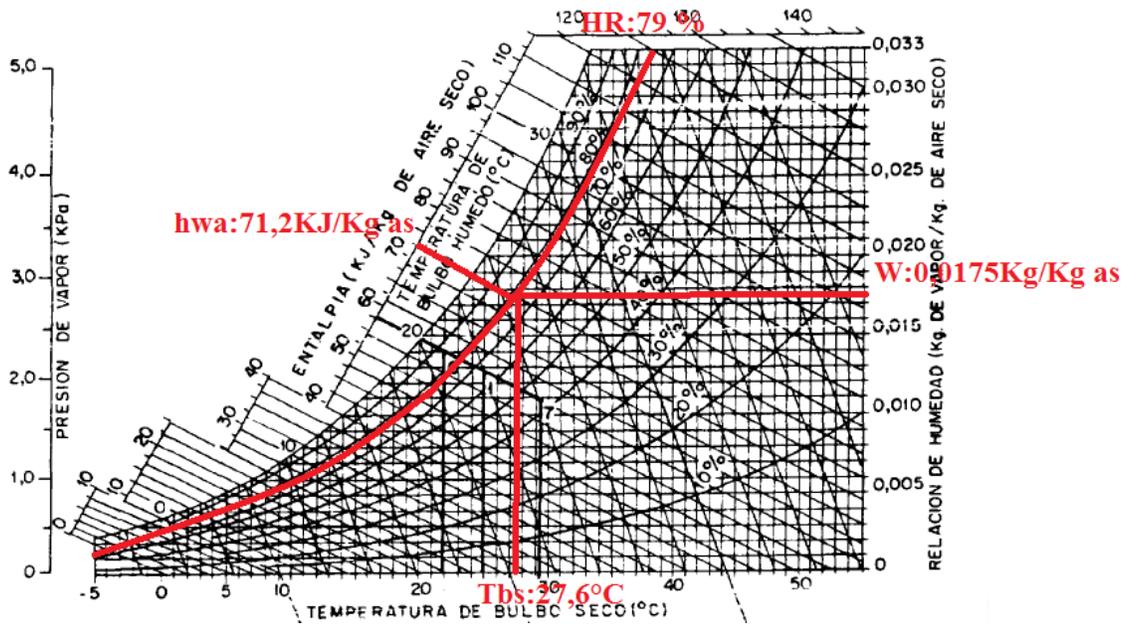
ANEXO A. Inventario de las empresas de dedicadas a la explotación y transformación de arcilla en Ocaña.

Método de explotación					Cielo Abierto	Método de combustión		Carbón- aserrín
Nº	Nombre del Chircal	Vereda/Cgt o/Paraje/Barrio	Tipo de Horno	Total	Capacidad (Ladrillo-teja)	Consumo mensual	Producto final de transformación	Cantidad de Producto Transformado Mensual
1	Bolívar	El Hatillo	Cuadrado - Redondo	4	4,000 - 9,000 - 12,000	8 Ton	Ladrillos	20,000
2	San Martín	El Hatillo	Cuadrado	3	5,000 - 6,000	3 Ton.	Ladrillos	10,000
3	Sánchez	El Hatillo	Cuadrado	3	10,000 - 150,000	10 Ton.	Ladrillo	15,000
4	La Canela	El Hatillo	Redondo	1	4,000	2 Ton	Ladrillo	12,000
5	Los Tamaquitos	La Pradera	Cuadrado	2	6,000	3 Ton	Ladrillo	10,000
6	Los Lemus	El Hatillito	Cuadrado	4	8,000 - 10,000	5 Ton.	Ladrillo	20,000
7	El Conquistador	El Hatillito	Cuadrado	5	5,000 - 6,000	3 Ton	Ladrillo	10,000
8	El Conquistador	El Hatillito	Cuadrado	6	8,000	10 Ton.	Ladrillo	13,000
9	La Cucharita	El Hatillo	Cuadrado	2	8,000 - 10,000	8 Ton.	Ladrillos	12,000
10	Los Arbustos	La Carbonera	Cuadrado	2	4,000 - 8,000	3 Ton	Ladrillo	8,000
11	El Carbón	El Carbón	Cuadrado	2	5,000 - 7,000	5 Ton	Ladrillo	12,000
12	La Campana	El tejar	Cuadrado	1	9,000	1 Ton	Ladrillo	10,000
13	El Recreo	El tejar	Cuadrado	1	3,000	200 Bultos	Teja	2,000
14	El Recreo 2	El tejar	Redondo	1	4,300	3 Ton	Ladrillo	10,000
15	Los Arales	La Circunvalar	Cuadrado	2	7,000 -9,000	2 Ton	Ladrillo	10,000
16	Los Guayabos	Los Guayabitos	Cuadrado	3	6,000 - 15,000	5 Ton	Ladrillo	8,000
17	Los Guayabos	Los Guayabitos	Redondo	2	5,000	4 Ton	Ladrillo	10,000
18	Estanco	El Estanco	Cuadrado - Redondo	4	7,000 - 4,000 - 11,000	10 Ton	Ladrillo	10,000
19	Estanco	El Estanco	Cuadrado	4	7,000 - 12,000 - 16,000	10 Ton	ladrillo	30,000
20	Estanco	El Estanco	Cuadrado	3	9,000 - 10,000-2,200	3 Ton	Ladrillo	25,000
21	Estanco	El Estanco	Redondo	3	6,000 - 10,000- 16,000	10 Ton	Ladrillo	20,000
22	Hora LTDA	La Rinconada	Hoffman	1	114 Apiles	170 Ton.	Bloque de mampostería	630,000
23	El Bosque	El Ramal	Cuadrado - Redondo	2	10,000	1 Ton	Ladrillo	10,000
24	San Antonio	Transv. El Ramal	Cuadrado	1	1,000 - 2,000	200 Bultos	Ladrillo, teja, baldosa	1,000 - 2,000
25	El Líbano	Vía a Aguas Claras	Cuadrado	2	4,000 - 5,000	3 Ton	Ladrillo	6,000
26	Los Pinos	Aguas Claras	Cuadrado	3	4,000 c/u	3 Ton	Ladrillo	10,000 - 20,000
27	San Fernando	San Luis	Cuadrado - Redondo	4	5,000 - 10,000	1,5 Ton	Ladrillo	4,000
28	Villa Venecia	La Ermita	Cuadrado	2	8,000 - 12,000	10 Ton	Ladrillo	30,000
28	Tejar Bética	Bética	Redondo	2	3,000 - 5,000		Ladrillo	2,500
30	Buenavista	Buenavista	circular	3	6,000-3000-7000	5 Ton-480 bultos	Ladrillo-Teja	16,000-3,000

ANEXO B. Interpolación en la carta psicométrica.

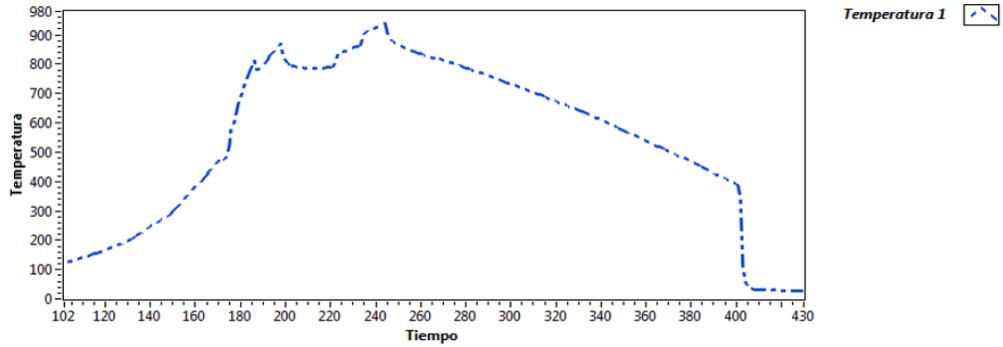


ANEXO C. Interpolación en la carta psicométrica.

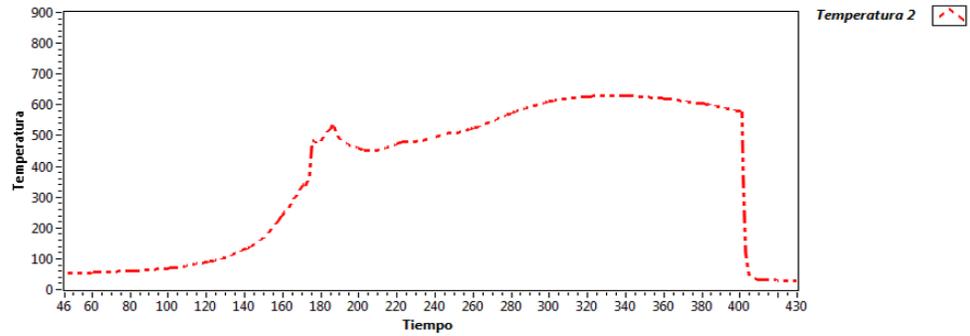


ANEXO D. Perfiles de temperatura individual en el horno Hoffman.

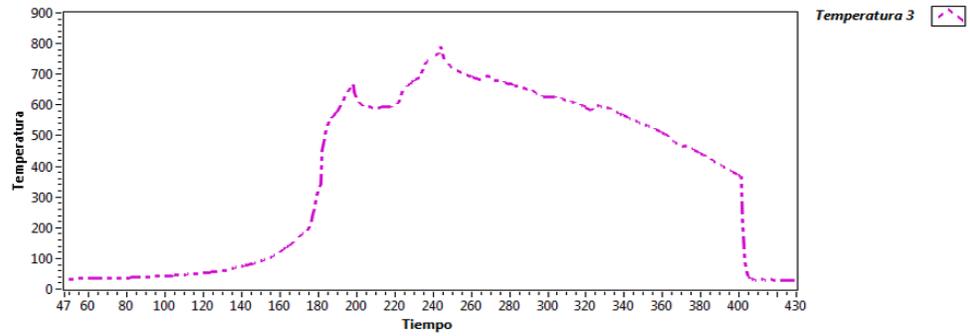
Grafica termopar 1



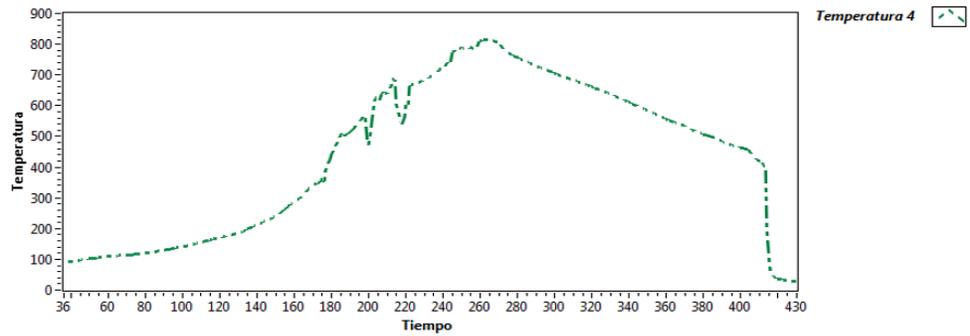
Grafica termopar 2



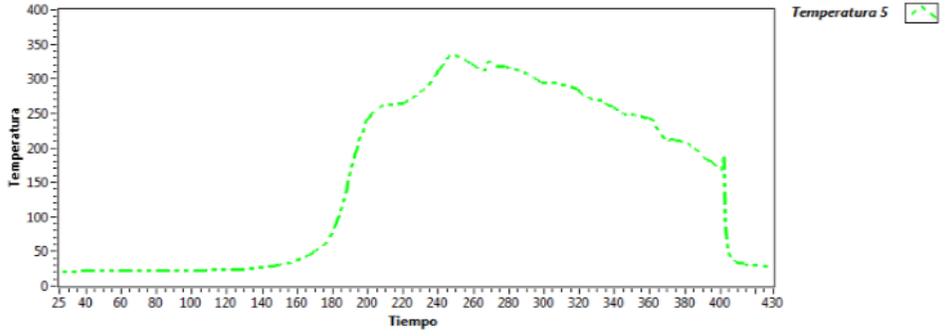
Grafica termopar 3



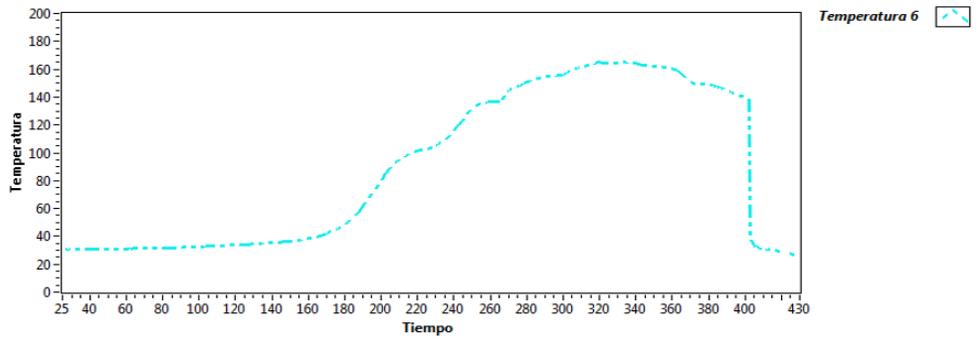
Grafica termopar 4



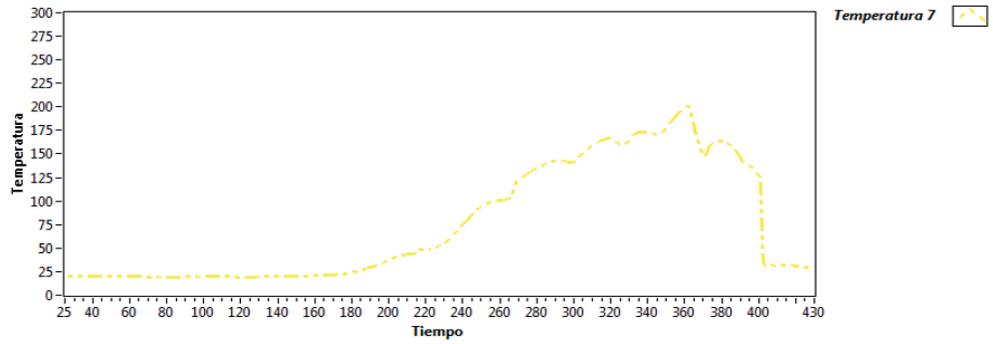
Grafica termopar 5



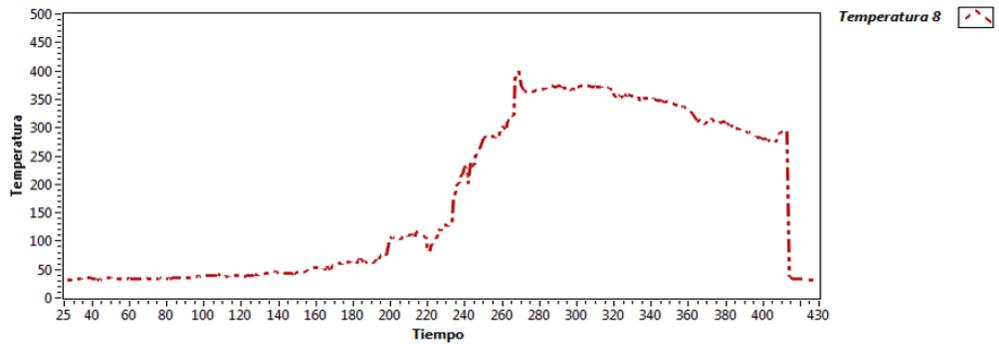
Grafica termopar 6



Grafica termopar 7

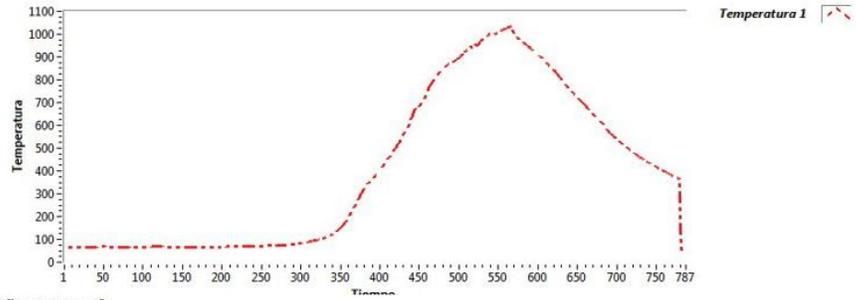


Grafica termopar 8



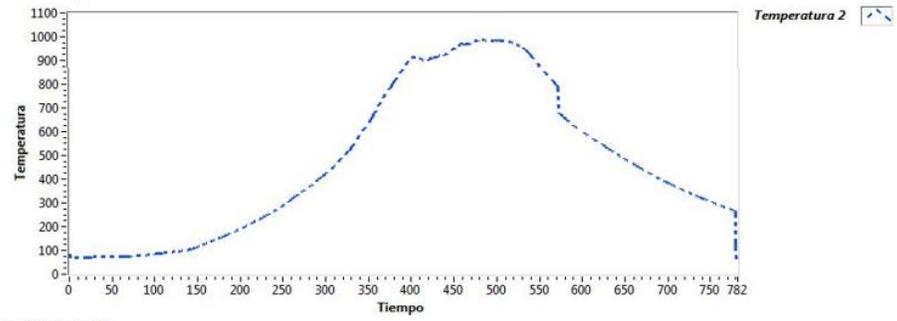
ANEXO E. Perfiles de temperatura individual en el horno Circular.

Grafica termopar 1

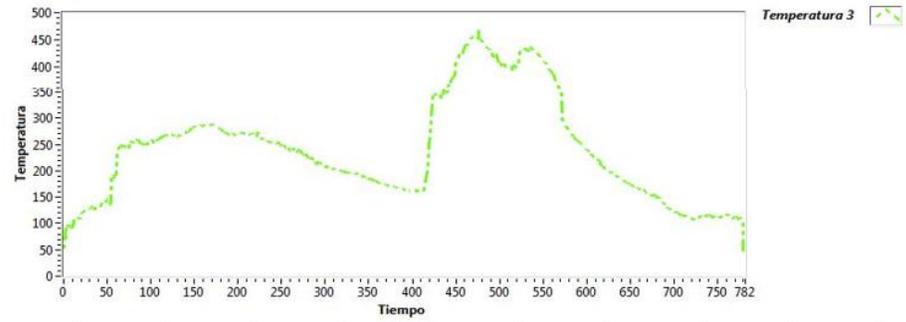


Grafica termopar 2

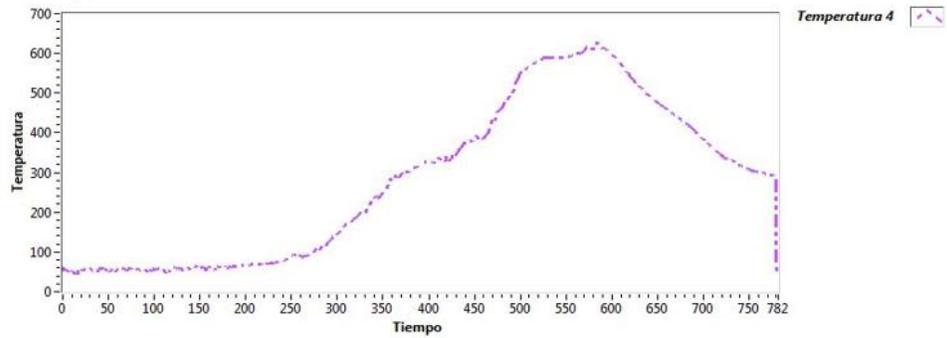
Grafica termopar 2



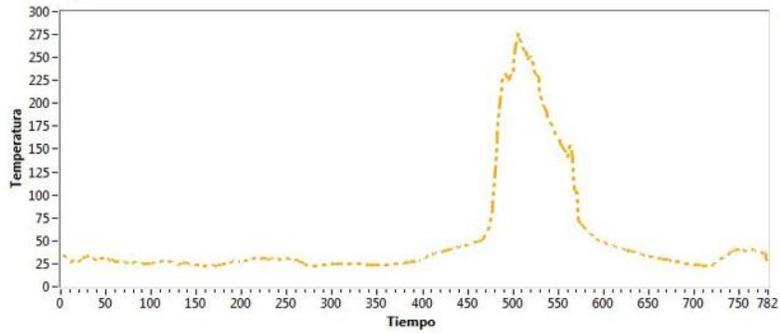
Grafica termopar 3



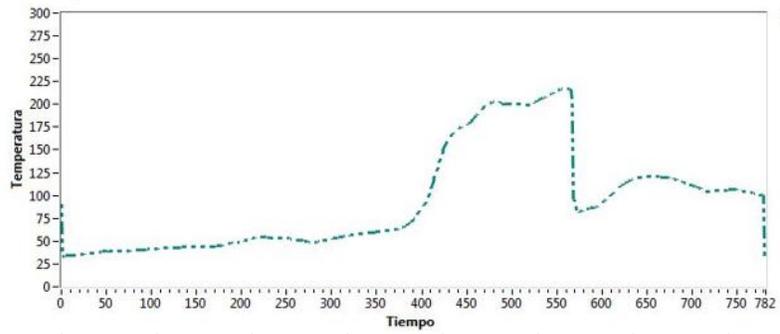
Grafica termopar 4



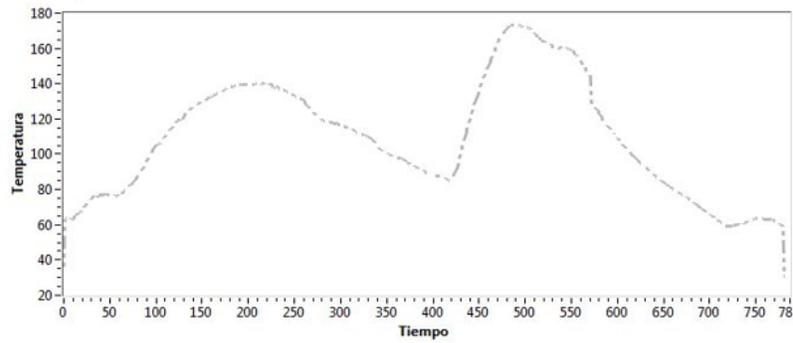
Grafica termopar 5



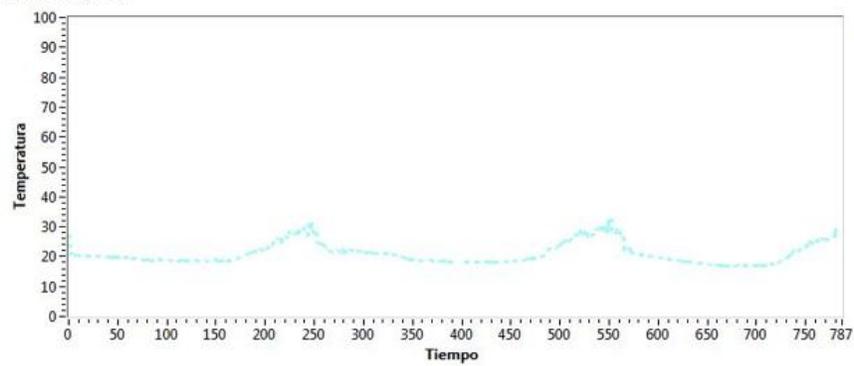
Grafica termopar 6



Grafica termopar 7

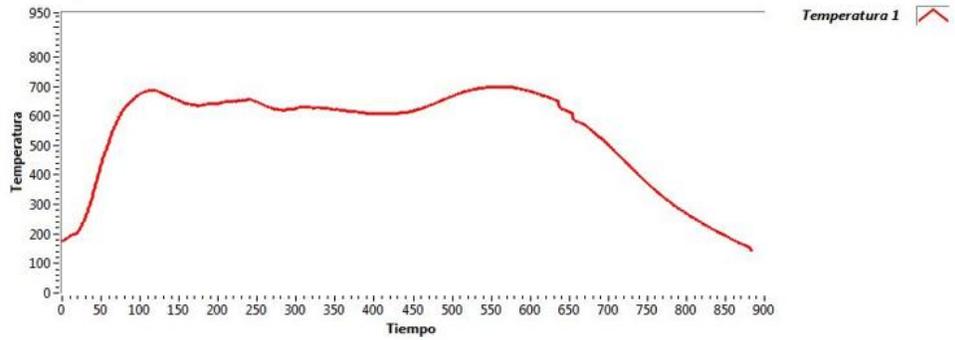


Grafica termopar 8

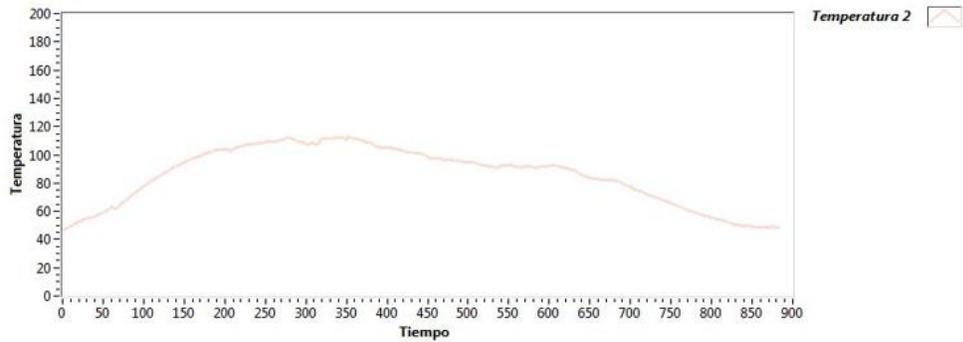


ANEXO F. Perfiles de temperatura individual en el horno Rectangular.

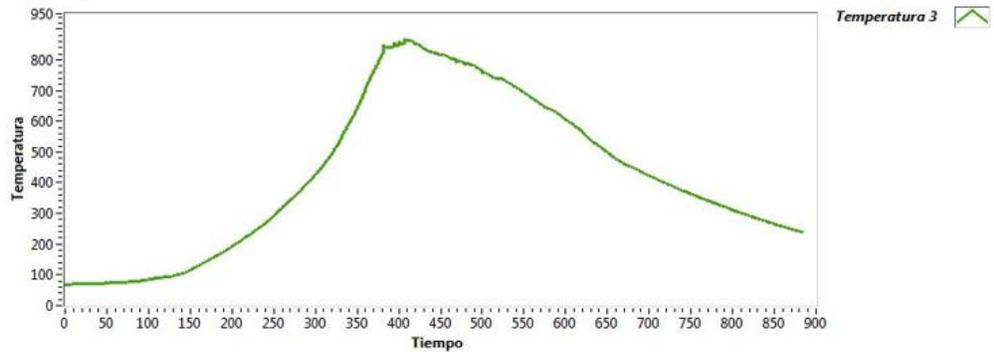
Grafica termopar 1



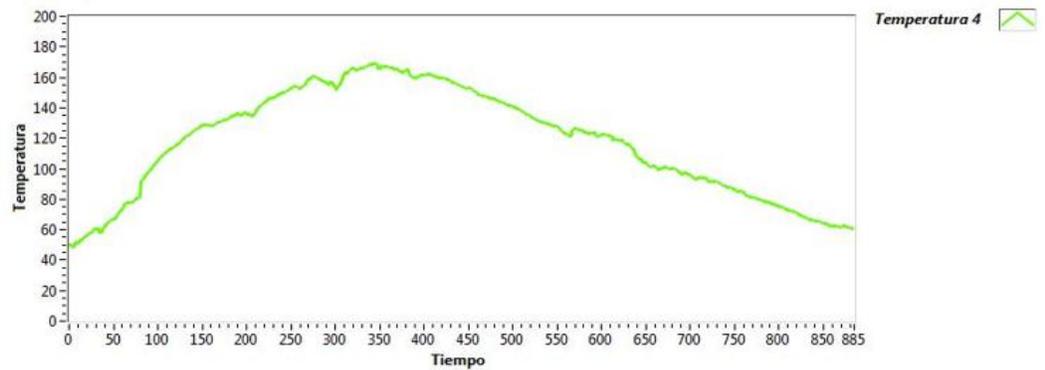
Grafica termopar 2



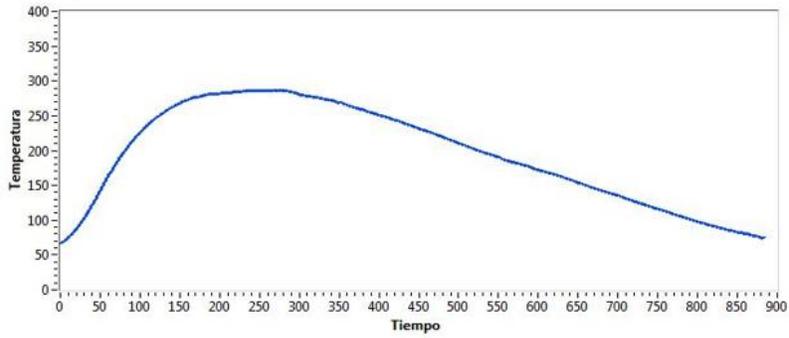
Grafica termopar 3



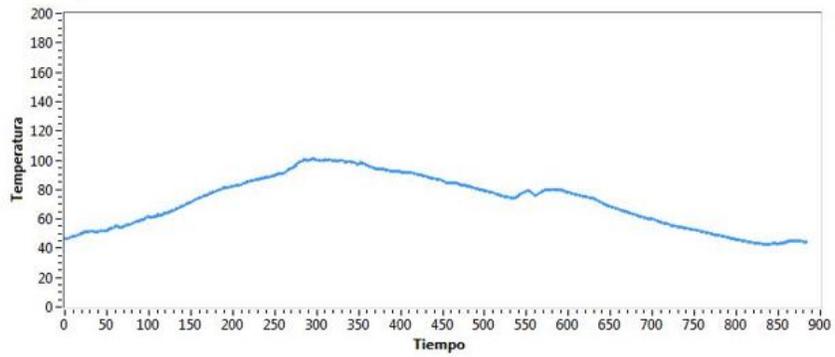
Grafica termopar 4



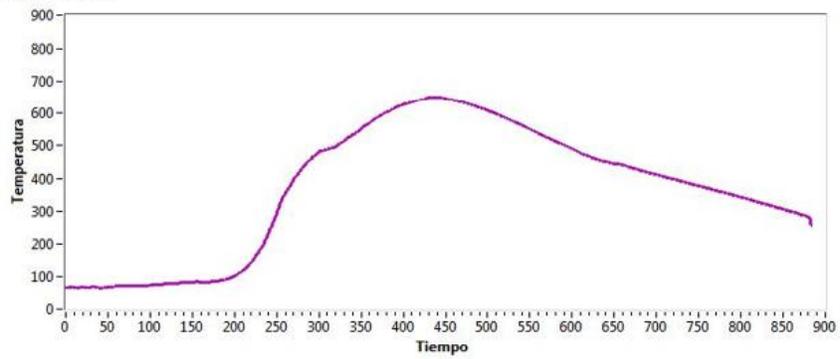
Grafica termopar 5



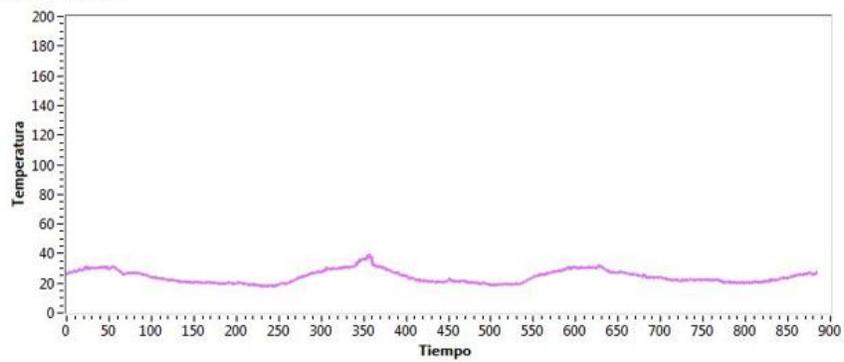
Grafica termopar 6



Grafica termopar 7



Grafica termopar 8



ANEXO G. Mediciones de gases en el horno Hoffman.

TIPO	N° Agujero	8:15 am	8:30 am	8:45 am	9:00 am
# CORRIDA	1	1	2	3	4
O2 %	1	20,1	20	19,5	19,6
	2	20,1	20,1	19,3	19,5
	3	20,1	20,2	19,3	19,45
Total		20,10	20,10	19,37	19,52
CO PPM	1	178	167	203	143
	2	176	355	180	166
	3	170	226	183	147
Total		174,67	249,33	188,67	152,00
Presión mm H₂O	1	2,84	3,06	2,71	2,03
	2	0,15	0,75	1,08	2,16
	3	1,6	2,1	1,84	1,94
Total		1,53	1,97	1,88	2,04
T °C	1	54,2	54,7	52	50,4
	2	59,5	60	52,8	52,5
	3	59,2	59,7	52,9	52,8
Total		57,63	58,13	52,57	51,90
NO PPM	1	17	19	29	34
	2	19	24	31	34
	3	19	13	31	31
Total		18,33	18,67	30,33	33,00
R CO/CO₂	1	0,0222	0,0181	0,0137	0,0107
	2	0,0211	0,0264	0,0132	0,0114
	3	0,0213	0,0348	0,0125	0,0118
Total		0,022	0,026	0,013	0,011

TIPO	N° Agujero	9:15 am	9:30 am	9:45 am	10:00 am
# CORRIDA	2	1	2	3	4
O2 %	1	19,5	19,6	19,5	19,6
	2	19,5	19,9	19,6	19,6
	3	19,5	20,2	20	19,6
Total		19,50	19,90	19,70	19,60
CO PPM	1	142	131	580	510
	2	141	143	612	530
	3	139	140	280	541
Total		140,67	138,00	490,67	527,00
Presión mm H₂O	1	2,78	2,44	2,18	1,48
	2	3,04	4,42	2,21	3,34
	3	1,49	1,15	0,82	2,26
Total		2,44	2,67	1,74	2,36
T °C	1	52,9	50,6	51,4	51,5
	2	52,4	53,1	53,2	52,5
	3	52,9	52,6	52,9	53,5
Total		52,73	52,10	52,50	52,50
NO PPM	1	34	35	24	19
	2	36	29	23	24
	3	36	24	23	24
Total		35,33	29,33	23,33	22,33
R CO/CO₂	1	0,0108	0,01	0,045	0,0378
	2	0,0108	0,0152	0,047	0,0424
	3	0,0105	0,0178	0,0421	0,0406
Total		0,011	0,014	0,045	0,040

TIPO	N° Agujero	10:15 am	10:30 am	10:45 am	11:00 am
# CORRIDA	3	1	2	3	4
O2 %	1	19,5	19,6	19,7	19,7
	2	19,5	19,6	19,7	19,8
	3	19,5	19,6	19,7	19,8
Total		19,50	19,60	19,70	19,77
CO PPM	1	470	392	210	205
	2	456	366	217	181
	3	433	301	237	185
Total		453,00	353,00	221,33	190,33
Presión mm H₂O	1	2,21	2,09	1,89	3,67
	2	3,49	7,3	1,14	2,71
	3	2,76	3,11	0,88	1,6
Total		2,82	4,17	1,30	2,66
T °C	1	51,5	51,7	51,5	52,9
	2	53,4	51,8	53	51
	3	53,9	54,4	53,6	53,6
Total		52,93	52,63	52,70	52,50
NO PPM	1	25	24	22	21
	2	25	23	21	21
	3	25	22	23	21
Total		25,00	23,00	22,00	21,00
R CO/CO₂	1	0,0364	0,0301	0,0176	0,017
	2	0,035	0,028	0,0191	0,0157
	3	0,0333	0,0235	0,0197	0,0148
Total		0,035	0,027	0,019	0,016

ANEXO H. Mediciones de gases en el horno circular.

TIPO	Nº	9:00 am	9:15 am	9:30 am	9:45 am
# CORRIDA	1	1 (Pared)	2(Pared)	3(Pared)	4(Pared)
O2 %	1	18,1	6,9	20,2	20,5
	2	11,1	9,7	13,9	7,3
Total		14,6	8,3	17,05	13,9
CO PPM	1	ALTO	ALTO	ALTO	511
	2	ALTO	ALTO	ALTO	382
Total		ALTO	ALTO	ALTO	382
CO₂ %	1	7	13,5	10,7	13,4
	2	9,4	11,9	5	14
Total		8,2	12,7	7,85	13,7
NO PPM	1	23	31	20	73
	2	30	19	17	74
Total		26,5	25	18,5	73,5
Presión mm H₂O	1	3,3	4,15	4,37	4,24
	2	3,26	4,3	4,55	4,39
Total		3,28	4,225	4,46	4,315
T °C	1	64,4	70,6	67,5	52
	2	71,3	64,1	71	63,2
Total		67,85	67,35	69,25	57,6
R CO/CO₂	1	0,4517	0,2446	0,3404	0,0024
	2	0,3513	0,6475	0,2902	0,0035
Total		0,4015	0,44605	0,3153	0,00295
X Exceso %	1	254	104,9	190,3	48,2
	2	344,7	178,7	186	309,9
Total		299,35	141,8	188,15	179,05
EFF %	1	88,3	90,7	89,3	60,5
	2	84,7	86,3	88,4	59,7
Total		86,5	88,5	88,85	60,1

TIPO	N°	10:00 am	10:15 am	10:30 am	10:45 am
# CORRIDA	2	1(Pared)	2(Pared)	3(Pared)	4(Superior)
O₂ %	1	16,4	8,2	14,2	14,9
	2	5,7	14,6	9,2	13,9
Total		11,05	11,4	11,7	14,4
CO PPM	1	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
	2	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
Total		ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
CO₂ %	1	4,3	12,2	6,4	5,8
	2	9	7,4	8,5	7,2
Total		6,65	9,8	7,45	6,5
NO PPM	1	10	16	11	9
	2	10	10	8	9
Total		10	13	9,5	9
Presión mm H₂O	1	3,67	3,56	3,58	3,49
	2	3,48	3,6	3,6	3,4
Total		3,575	3,58	3,59	3,445
T °C	1	65,4	64,2	76,5	64,2
	2	51,3	73,1	75,7	64,3
Total		58,35	68,65	76,1	64,25
R CO/CO₂	1	0,7679	0,2706	0,5159	0,5693
	2	0,0963	0,3752	0,4345	0,418
Total		0,4321	0,3229	0,4752	0,49365
X Exceso %	1	242,6	211,9	280	151
	2	158	422,5	294	171,4
Total		200,3	317,2	287	161,2
EFF %	1	87,2	90,9	87,8	88,8
	2	90,6	87,6	89	89,5
Total		88,9	89,25	88,4	89,15

TIPO	N°	11:00 am	11:15 am	11:30 am	11:45 am
# CORRIDA	3	1(Superior)	2(Superior)	3(Superior)	4(Superior)
O2 %	1	13,2	15	12,1	10,7
	2	14,6	13,3	12,2	10,8
Total		13,9	14,15	12,15	10,75
CO PPM	1	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
	2	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
Total		ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
CO₂ %	1	7,4	5,7	8,5	9,8
	2	6,1	7,3	8,4	9,7
Total		6,75	6,5	8,45	9,75
NO PPM	1	6	4	7	8
	2	4	5	7	8
Total		5	4,5	7	8
Presión mm H₂O	1	0,23	0,13	0,27	0,4
	2	0,19	0,27	0,34	0,4
Total		0,21	0,2	0,305	0,4
T °C	1	65,8	66,2	65,4	66,7
	2	63,6	63,4	68,2	65,5
Total		64,7	64,8	66,8	66,1
R CO/CO₂	1	0,4462	0,593	0,3885	0,3369
	2	0,5413	0,4523	0,3931	0,3404
Total		0,49375	0,52265	0,3908	0,33865
X Exceso %	1	86,6	83,3	80,2	78,6
	2	85	81,7	80	77,1
Total		85,8	82,5	80,1	77,85
EFF %	1	93	92,9	100	92,9
	2	100	100	92,8	100
Total		96,5	96,45	96,4	96,45

ANEXO I. Mediciones de gases en el horno rectangular.

TIPO	N°	10:00 am	10:15 am	10:30 am	10:45 am
# CORRIDA	1	1(Pared)	2(Pared)	3(Pared)	4(Superior)
O2 %	1	10,5	11,3	6,3	6,7
	2	6,9	4,7	6,1	12,1
Total		8,7	8	6,2	9,4
CO PPM	1	ALTO	ALTO	ALTO	511
	2	ALTO	ALTO	ALTO	382
Total		ALTO	ALTO	ALTO	382
CO₂ %	1	10	9,2	14	13,7
	2	13,5	15,6	14,2	8,5
Total		11,75	12,4	14,1	11,1
NO PPM	1	48	67	178	208
	2	78	116	204	137
Total		63	91,5	191	172,5
Presión mm H₂O	1	0,13	0,53	1,01	1,126
	2	0,13	0,74	1,16	1,35
Total		0,13	0,635	1,01	1,238
T °C	1	89,9	104,3	88,7	102,5
	2	103,2	98,1	91,8	71,2
Total		96,55	101,2	90,25	86,85
R CO/CO₂	1	0,3302	0,3589	0,2358	0,241
	2	0,2446	0,2116	0,2325	0,3885
Total		0,2874	0,28525	0,23415	0,31475
X Exceso %	1	101	117,7	43,2	47,2
	2	49,3	29	41,2	137,5
Total		75,15	73,35	42,2	92,35
EFF %	1	89	87,6	90,1	89,3
	2	89,2	90	90	89,9
Total		89,1	88,8	90	89,6

TIPO	N°	11:00 am	11:15 am	11:30 am	11:45 am
# CORRIDA	2	1(Pared)	2(Pared)	3(Pared)	4(Superior)
O2 %	1	14,9	9,3	9,5	11,8
	2	6,7	9,9	8,7	11,2
Total		10,8	9,6	9,1	11,5
CO PPM	1	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
	2	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
Total		ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
CO₂ %	1	5,8	11,2	11	8,8
	2	13,7	10,6	11,7	9,3
Total		9,75	10,9	11,35	9,05
NO PPM	1	151	81	54	42
	2	225	66	55	39
Total		188	73,5	54,5	40,5
Presión mm H₂O	1	1,43	1,69	2,02	2,13
	2	1,52	1,76	2,02	2,08
Total		1,475	1,725	2,02	2,105
T °C	1	90,6	121,8	88,1	143,8
	2	95,5	133,6	108,1	155,8
Total		93,05	127,7	98,1	149,8
R CO/CO₂	1	0,5693	0,2948	0,3002	0,3752
	2	0,241	0,3115	0,2822	0,355
Total		0,40515	0,30315	0,2912	0,3651
X Exceso %	1	248,3	80,2	83,3	129,7
	2	47,2	90	71,3	115,5
Total		147,75	85,1	77,3	122,6
EFF %	1	86,3	87,4	89,4	84,3
	2	89,7	86,3	88,4	83,9
Total		88	86,85	88,9	84,1

TIPO	N°	12:00 pm	12:15 pm	12:30 pm	11:45 pm
# CORRIDA	3	1(Superior)	2(Superior)	3(Superior)	4(Superior)
O2 %	1	11,6	12	11,1	11,2
	2	10,1	11,3	11,9	21,1
Total		10,85	11,65	11,5	16,15
CO PPM	1	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
	2	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
Total		ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
CO₂ %	1	8,4	8,6	9,4	9,3
	2	10,4	9,2	8,7	8,5
Total		9,4	8,9	9,05	8,9
NO PPM	1	34	31	29	27
	2	46	31	26	23
Total		40	31	27,5	25
Presión mm H₂O	1	2,11	2,38	2,79	2,88
	2	2,21	2,59	2,81	2,92
Total		2,16	2,485	2,8	2,9
T °C	1	151,5	154,6	160,7	163,2
	2	152,4	157,7	163,2	165,9
Total		151,95	156,15	161,95	164,55
R CO/CO₂	1	0,311	0,3839	0,3513	0,355
	2	0,3175	0,3589	0,3795	0,3885
Total		0,31425	0,3714	0,3654	0,37175
X Exceso %	1	124,7	134,8	113,3	115,5
	2	93,5	117,7	132,2	137,5
Total		109,1	126,25	122,75	126,5
EFF %	1	83,8	83,3	83,3	92,9
	2	85	83,6	82,2	100
Total		84,4	83,45	82,75	96,45

ANEXO J. Cálculos del monitoreo de gases en los hornos.

Horno Hoffman

Dónde: 273,22 ppm = 337 mg/m³ (Fuente: lenntech calculadora online)

Para CO corregido a condiciones de referencia por medio de la siguiente ecuación:

$$CCR = CCL \frac{TCL * PCR}{TCR * PCL}$$

CCR: Concentración del contaminante a condiciones de referencia en mg/m³

CCL: Concentración del contaminante a condiciones locales en (337 mg/m³)

TCL: Temperatura de los gases a la salida del ducto en (363,8°K)

PCR: Presión a condiciones de referencia en mm Hg (760 mmHg)

PCL: Presión de los gases a la salida del ducto en mm Hg (668,8mmHg)

TCR: Temperatura a condiciones de referencia en (298°K)

Luego:

$$CCR = 337 \frac{363,8 * 760}{298 * 668,8} = 116,68 \text{ mg/m}^3$$

Para NO corregido a condiciones de referencia por medio de la siguiente ecuación:

Dónde: 25,14 ppm = 33,22 mg/m³ (Fuente: lenntech calculadora online)

CCR: Concentración del contaminante a condiciones de referencia en mg/m³

CCL: Concentración del contaminante a condiciones locales en (33,22 mg/m³)

TCL: Temperatura de los gases a la salida del ducto en (363,8°K)

PCR: Presión a condiciones de referencia en mm Hg (760 mmHg)

PCL: Presión de los gases a la salida del ducto en mm Hg (668,8mmHg)

TCR: Temperatura a condiciones de referencia en (298°K)

$$CCR = 33,22 \frac{363,8 * 760}{298 * 668,8} = 11,5 \text{ mg/m}^3$$

Dónde: 273,22 ppm = 337 mg/m³ (Fuente: lenntech calculadora online)

Para CO a Corrección de oxígeno de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$CCR(O2ref) = CCR \frac{21 - \%O2ref}{21\% - X\%}$$

CCR (O2ref): Concentración del contaminante a condiciones de referencia con la corrección de oxígeno

CCR(X%): Concentración del contaminante a condiciones de referencia (337 mg/m³)

%O2ref: Oxígeno de referencia de la medición, de conformidad con lo establecido en la presente resolución, en (18 %)

X%: Oxígeno medido a la salida de los gases, en (19,7%)

Luego:

$$CCR(O2ref) = 337 \frac{21 - 18}{21 - 12,91} = 777,69 \text{ mg/m}^3$$

Para NO a Corrección de oxígeno de acuerdo a la siguiente ecuación:

Dónde: 25,14 ppm = 33,22 mg/m³ (Fuente: lenntech calculadora online)

Con oxígeno de referencia (18%)

$$CCR(O2ref) = 33,22 \frac{21 - 18}{21 - 12,91} = 76,66 \text{ mg/m}^3$$

El Cálculo del porcentaje del CO₂ será (Fuente: Evaluación de emisiones testo):

Para el carbón el CO₂ máximo será de 18,5 %.

O₂ Medido: 19,7%

$$CO_2 = CO2Max \frac{21 - O2medido}{21}$$

$$CO_2 = 18,5 \frac{21 - 19,7}{21} = 1,14 \%$$

Horno Circular

Dónde: 3721,69 ppm = 4590 mg/m³ (Fuente: lenntech calculadora online)

Para CO a Corrección de oxígeno de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$CCR(O2ref) = CCR \frac{21 - \%O2ref}{21\% - X\%}$$

CCR (O2ref): Concentración del contaminante a condiciones de referencia con la corrección de oxígeno

CCR(X%): Concentración del contaminante a condiciones de referencia (4590 mg/m³)

%O2ref: Oxígeno de referencia de la medición, de conformidad con lo establecido en la presente resolución, en (18 %)

X%: Oxígeno medido a la salida de los gases, en (12,91%)

Luego:

$$CCR(O2ref) = 4590 \frac{21-18}{21-12,91} = 1702,1 \text{ mg/m}^3$$

Para NO a Corrección de oxígeno de acuerdo a la siguiente ecuación:

Dónde: 18,15 ppm = 23,98 mg/m³ (Fuente: lenntech calculadora online)

Con oxígeno de referencia (18%)

$$CCR(O2ref) = 23,98 \frac{21-18}{21-12,91} = 8,89 \text{ mg/m}^3$$

Horno Cuadrado

Dónde: 4000 ppm = 4933 mg/m³ (Fuente: lenntech calculadora online)

Para CO a Corrección de oxígeno de acuerdo a la siguiente ecuación:

Con oxígeno de referencia (18%)

Luego:

$$CCR(O2ref) = 4933 \frac{21-18}{21-12,91} = 1424,35 \text{ mg/m}^3$$

Para NO a Corrección de oxígeno de acuerdo a la siguiente ecuación:

Dónde: 78,8 ppm = 104,1 mg/m³ (Fuente: lenntech calculadora online)

Con oxígeno de referencia (18%)

$$CCR(O2ref) = 104,1 \frac{21-18}{21-12,91} = 30,05 \text{ mg/m}^3$$

Determinación del material particulado en el horno Circular.¹⁰⁹

Capacidad: 4000 boques común y 300 ladrillos H-10.

Peso promedio del ladrillo: 9,35 Kg H-10 y 4,15 Kg Bloque común.

Masa Total de carga: 19405 Kg = 19,405 Ton

Factores de emisión (Fuente: AP42-EPA).

Factores de emisión (Lb/Ton) para cocción del ladrillo: 1,288

Factores de emisión (Lb/Ton) para combustión del carbón: 20,78

Cantidad de carbón consumida: 1,5 Ton

Numero de quemas al año: 24

¹⁰⁹ GARRIDO Prado, Hernann & RODRIGEZ Granobles, Farid. Factores de emisión como herramienta en la cuantificación de la efectividad acciones emprendidas por las autoridades ambientales en Bogotá. Universidad Industrial de Santander. 2011.

Luego el material particulado por quema de ladrillos será:

$$\text{Material particulado} = 19,405\text{Ton} * 1,288 \frac{\text{Lb}}{\text{Ton}} * \frac{0,5\text{Kg}}{\text{Lb}} = 12,45\text{Kg}$$

Por la combustión del carbón el caculo será:

$$\text{Material particulado} = 15\text{Ton} * 20,78 \frac{\text{Lb}}{\text{Ton}} * \frac{0,5\text{Kg}}{\text{Lb}} = 155,85\text{Kg}$$

Entonces el material particulado por horneado del material será:

$$\text{Material particulado por horneado} = 12,45\text{Kg} + 155,85\text{Kg} = 168,3\text{Kg}$$

Levando el resultado a toneladas por año:

$$168,3\text{Kg} * 24\text{Quemas} * \frac{1\text{Ton}}{1000\text{Kg}} = 4,039 \frac{\text{Ton}}{\text{año}} \text{ De material particulado}$$

Determinación del material particulado en el horno Cuadrado.

Capacidad: 1700 bloques común y 500 ladrillos H-10.

Peso promedio del ladrillo: 7,54 Kg H-10 y 3,27 Kg Bloque común.

Masa Total de carga: 9329 Kg = 9,329 Ton

Factores de emisión (Fuente: AP42-EPA).

Factores de emisión (Lb/Ton) para cocción del ladrillo: 1,288

Factores de emisión (Lb/Ton) para combustión del carbón: 20,78

Cantidad de carbón consumida: 0,8 Ton

Numero de quemas al año: 24

Luego el material particulado por quema de ladrillos será:

$$\text{Material particulado} = 9,329\text{Ton} * 1,288 \frac{\text{Lb}}{\text{Ton}} * \frac{0,5\text{Kg}}{\text{Lb}} = 6\text{Kg}$$

Por la combustión del carbón el caculo será:

$$\text{Material particulado} = 0,8\text{Ton} * 20,78 \frac{\text{Lb}}{\text{Ton}} * \frac{0,5\text{Kg}}{\text{Lb}} = 8,31\text{Kg}$$

Entonces el material particulado por horneado del material será:

$$\text{Material particulado por horneado} = 6\text{Kg} + 8,312\text{Kg} = 14,31\text{Kg}$$

Levando el resultado a toneladas por año:

$$14,31\text{Kg} * 24\text{Quemas} * \frac{1\text{Ton}}{1000\text{Kg}} = 0,343 \frac{\text{Ton}}{\text{año}} \text{ De material particulado}$$

ANEXO K. Adquisición de temperaturas en el horno Hoffman

REPORTE DE LA ADQUISICIÓN HORNO 2.1. Operador: Daniel Ernesto Marrugo Carreazo Fecha: viernes, 20 de marzo de 2015 Hora: 05:18:10 p.m. Tipo de horno: Horno Hoffman Temperaturas en °C						T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8
04:42:08 p.m.	46,56	45,74	29,78	63,12	20,89	30,43	19,92	32,88					
04:45:28 p.m.	47,03	46,01	29,80	63,77	20,88	30,43	19,91	32,89					
04:48:48 p.m.	47,36	46,15	29,86	64,19	20,92	30,42	19,91	32,46					
04:52:08 p.m.	47,73	46,34	29,91	64,37	20,97	30,44	19,94	32,70					
04:55:28 p.m.	47,90	46,34	29,76	64,95	20,90	30,38	19,86	32,92					
04:58:48 p.m.	48,22	46,38	29,64	65,34	20,88	30,32	19,81	32,24					
05:02:08 p.m.	48,52	46,49	29,86	66,33	20,93	30,33	19,81	32,71					
05:05:28 p.m.	48,87	46,59	29,98	66,91	20,94	30,31	19,80	32,63					
05:08:48 p.m.	49,31	46,87	30,12	67,91	21,05	30,38	19,89	32,30					
05:12:08 p.m.	49,80	47,14	30,18	68,72	21,09	30,38	19,85	32,58					
05:15:28 p.m.	50,17	47,29	30,18	69,27	21,08	30,37	19,81	33,00					
05:18:48 p.m.	50,65	47,56	30,25	70,38	21,18	30,48	19,90	32,98					
05:22:08 p.m.	50,86	47,58	30,19	70,97	21,10	30,42	19,85	33,12					
05:25:28 p.m.	51,06	47,65	30,15	71,56	21,04	30,39	19,84	33,00					
05:28:48 p.m.	51,53	47,83	30,21	72,44	21,11	30,45	19,85	33,01					
05:32:08 p.m.	51,81	47,97	30,25	73,29	21,14	30,43	19,99	32,46					
05:35:28 p.m.	52,10	48,09	30,27	73,91	21,12	30,46	20,04	33,04					
05:38:48 p.m.	52,62	48,38	30,35	74,53	21,12	30,45	19,92	33,28					
05:42:08 p.m.	53,09	48,58	30,39	75,05	21,13	30,41	19,86	32,49					
05:45:28 p.m.	53,55	48,81	30,44	75,79	21,08	30,38	19,75	32,89					
05:48:48 p.m.	54,12	49,04	30,49	76,05	21,07	30,40	19,74	32,77					
05:52:08 p.m.	54,59	49,25	30,63	76,61	21,13	30,51	19,81	32,75					
05:55:28 p.m.	55,05	49,51	30,73	77,51	21,09	30,47	19,73	32,54					
05:58:48 p.m.	55,57	49,77	30,93	78,49	21,21	30,57	19,80	31,69					
06:02:08 p.m.	55,84	49,81	31,00	78,93	21,09	30,48	19,74	31,95					
06:05:28 p.m.	56,32	50,08	30,92	79,47	21,10	30,49	19,72	33,27					
06:08:48 p.m.	56,53	50,15	30,82	79,75	21,03	30,37	19,64	31,85					
06:12:08 p.m.	57,21	50,47	31,02	80,37	21,07	30,44	19,68	32,14					
06:15:28 p.m.	57,52	50,53	30,98	81,16	20,99	30,39	19,57	31,78					
06:18:48 p.m.	58,07	50,74	31,04	82,15	21,02	30,44	19,65	31,83					
06:22:08 p.m.	58,50	51,04	31,13	82,88	21,03	30,44	19,62	31,41					
06:25:28 p.m.	58,91	51,17	31,18	83,34	21,03	30,46	19,63	31,42					

06:28:48 p.m.	59,58	51,63	31,53	84,54	21,19	30,60	19,70	33,73
06:32:08 p.m.	60,06	51,91	31,76	85,17	21,16	30,53	19,66	34,22
06:35:28 p.m.	60,79	52,14	31,88	86,47	21,28	30,63	19,83	33,78
06:38:48 p.m.	62,01	52,54	32,11	87,93	21,31	30,66	19,90	32,52
06:42:08 p.m.	62,95	52,93	32,27	89,26	21,43	30,78	19,97	34,20
06:45:28 p.m.	63,73	53,26	32,30	89,62	21,47	30,70	20,00	35,11
06:48:48 p.m.	64,45	53,56	32,51	90,54	21,62	30,88	20,14	34,61
06:52:08 p.m.	65,11	53,85	32,65	91,80	21,76	30,90	20,34	35,07
06:55:28 p.m.	65,97	54,33	32,95	92,84	21,86	30,96	20,44	33,85
06:58:48 p.m.	66,43	54,56	32,97	93,91	21,71	30,86	20,13	32,82
07:02:08 p.m.	67,08	54,89	33,09	94,70	21,71	30,90	19,99	33,00
07:05:28 p.m.	67,75	55,14	33,23	95,78	21,68	30,91	19,93	32,34
07:08:48 p.m.	68,35	54,67	33,22	96,31	21,47	30,89	19,83	33,54
07:12:08 p.m.	69,04	54,39	33,07	97,10	21,46	30,89	19,80	32,34
07:15:28 p.m.	69,71	54,23	33,13	97,84	21,54	30,95	19,80	33,62
07:18:48 p.m.	70,42	54,20	33,29	98,79	21,63	31,01	19,82	32,98
07:22:08 p.m.	71,10	54,15	33,34	99,70	21,66	31,04	19,79	35,16
07:25:28 p.m.	71,54	54,16	33,49	100,55	21,66	30,99	19,79	35,58
07:28:48 p.m.	71,70	54,37	33,39	101,64	21,77	31,08	19,96	36,07
07:32:08 p.m.	71,95	54,65	33,60	102,57	21,77	31,07	19,91	34,06
07:35:28 p.m.	72,16	54,87	33,45	103,28	21,83	31,13	19,90	33,11
07:38:48 p.m.	72,44	55,00	33,64	103,91	21,76	31,07	19,79	33,01
07:42:08 p.m.	72,82	54,68	33,64	104,26	21,68	31,02	19,68	33,30
07:45:28 p.m.	73,50	54,57	33,89	105,18	21,69	31,08	19,68	33,66
07:48:48 p.m.	74,23	54,55	33,92	106,17	21,74	31,18	19,72	33,07
07:52:08 p.m.	74,99	54,68	34,14	106,99	21,70	31,17	19,65	32,98
07:55:28 p.m.	75,80	54,78	34,21	107,85	21,68	31,20	19,63	33,27
07:58:48 p.m.	76,47	54,93	34,51	108,59	21,66	31,17	19,60	34,48
08:02:08 p.m.	77,15	55,05	34,51	108,96	21,69	31,15	19,71	36,13
08:05:28 p.m.	78,01	55,25	34,61	109,50	21,71	31,14	19,77	34,09
08:08:48 p.m.	78,55	55,87	34,92	110,48	21,80	31,27	19,79	33,52
08:12:08 p.m.	79,06	56,22	34,96	111,12	21,74	31,22	19,68	33,62
08:15:28 p.m.	79,69	56,18	34,89	111,19	21,75	31,31	19,70	33,64
08:18:48 p.m.	80,41	56,30	34,95	111,41	21,69	31,24	19,57	33,92
08:22:08 p.m.	81,39	56,56	35,20	112,13	21,75	31,38	19,68	33,74
08:25:28 p.m.	82,10	56,64	35,22	112,36	21,70	31,35	19,63	33,29
08:28:48 p.m.	83,06	56,96	35,59	112,71	21,75	31,43	19,66	33,36
08:32:08 p.m.	83,90	57,16	35,47	113,02	21,73	31,37	19,60	34,86
08:35:28 p.m.	84,81	57,39	35,87	113,40	21,71	31,37	19,55	33,76
08:38:48 p.m.	85,56	57,65	35,86	113,70	21,66	31,35	19,48	33,34
08:42:08 p.m.	86,56	57,99	36,09	114,62	21,70	31,36	19,48	33,80

08:45:28 p.m.	87,02	58,61	36,26	115,51	21,65	31,34	19,41	33,70
08:48:48 p.m.	87,61	58,84	36,26	115,87	21,66	31,41	19,49	34,23
08:52:08 p.m.	88,36	59,01	36,29	116,16	21,65	31,45	19,51	33,57
08:55:28 p.m.	89,49	59,56	36,69	116,73	21,75	31,60	19,57	34,51
08:58:48 p.m.	90,50	59,56	36,86	116,81	21,75	31,63	19,52	34,61
09:02:08 p.m.	91,42	59,65	37,07	117,98	21,68	31,54	19,43	34,63
09:05:28 p.m.	92,29	60,28	37,25	118,86	21,75	31,63	19,48	34,81
09:08:48 p.m.	92,86	60,63	37,28	119,54	21,69	31,57	19,44	34,42
09:12:08 p.m.	93,70	60,77	37,28	120,52	21,65	31,58	19,41	35,02
09:15:28 p.m.	94,64	60,96	37,66	121,38	21,60	31,58	19,35	34,09
09:18:48 p.m.	95,69	61,22	37,89	122,05	21,67	31,67	19,40	36,40
09:22:08 p.m.	96,68	61,57	38,11	123,27	21,69	31,68	19,38	34,80
09:25:28 p.m.	97,84	61,91	38,44	124,09	21,70	31,74	19,41	34,76
09:28:48 p.m.	99,18	62,30	38,94	124,95	21,75	31,79	19,45	36,11
09:32:08 p.m.	100,40	62,81	39,16	126,29	21,85	31,90	19,51	34,92
09:35:28 p.m.	101,59	63,15	39,22	127,08	21,80	31,87	19,39	35,50
09:38:48 p.m.	102,97	63,58	39,62	128,39	21,90	31,99	19,47	35,50
09:42:08 p.m.	104,27	64,63	39,75	129,25	21,87	31,95	19,43	36,02
09:45:28 p.m.	105,45	65,08	40,08	130,17	22,06	32,12	19,65	36,02
09:48:48 p.m.	106,72	65,35	40,28	131,46	22,11	32,18	19,71	35,45
09:52:08 p.m.	108,13	65,76	40,56	132,56	22,11	32,21	19,68	35,89
09:55:28 p.m.	109,74	66,22	40,84	133,52	22,08	32,23	19,57	36,07
09:58:48 p.m.	111,29	66,73	41,22	134,80	22,17	32,28	19,57	37,09
10:02:08 p.m.	112,78	67,25	41,46	136,06	22,22	32,39	19,59	38,39
10:05:28 p.m.	114,27	67,65	41,59	137,01	22,19	32,32	19,56	38,67
10:08:48 p.m.	115,90	68,27	42,08	138,36	22,18	32,36	19,60	38,46
10:12:08 p.m.	117,42	68,71	42,39	139,83	22,26	32,46	19,72	39,53
10:15:28 p.m.	119,00	69,28	42,77	141,12	22,42	32,62	19,77	39,51
10:18:48 p.m.	120,27	69,78	43,03	141,52	22,34	32,64	19,68	39,64
10:22:08 p.m.	122,16	70,82	43,27	143,17	22,39	32,68	19,72	39,90
10:25:28 p.m.	123,88	71,93	43,52	144,42	22,43	32,73	19,78	39,99
10:28:48 p.m.	126,15	72,24	43,96	146,28	22,52	32,83	19,86	40,21
10:32:08 p.m.	128,17	72,77	44,47	147,87	22,53	32,90	19,90	39,93
10:35:28 p.m.	130,21	73,47	45,09	149,31	22,64	32,99	19,93	39,88
10:38:48 p.m.	132,54	74,29	45,64	150,96	22,69	33,10	19,94	39,92
10:42:08 p.m.	135,01	75,26	46,15	152,92	22,79	33,16	19,87	40,54
10:45:28 p.m.	137,56	76,18	46,75	153,94	23,01	33,28	20,01	40,46
10:48:48 p.m.	139,89	77,14	47,46	155,65	23,11	33,39	20,11	40,84
10:52:08 p.m.	142,46	78,08	47,72	157,18	23,06	33,42	20,07	40,67
10:55:28 p.m.	144,89	79,11	48,44	158,82	23,05	33,49	19,93	38,07
10:58:48 p.m.	147,62	80,30	48,83	160,14	23,06	33,52	19,78	38,09

11:02:08 p.m.	150,73	81,88	49,38	161,42	23,05	33,55	19,66	39,97
11:05:28 p.m.	153,16	83,71	49,99	162,89	23,13	33,62	19,67	39,56
11:08:49 p.m.	155,43	85,01	50,21	164,29	23,14	33,65	19,60	39,77
11:12:09 p.m.	157,98	85,63	50,49	165,44	23,17	33,66	19,55	39,94
11:15:29 p.m.	160,74	86,46	51,08	166,36	23,24	33,72	19,54	40,15
11:18:49 p.m.	163,52	87,51	51,57	168,05	23,24	33,77	19,54	39,73
11:22:09 p.m.	166,69	88,76	52,36	170,29	23,37	33,83	19,48	38,57
11:25:29 p.m.	169,80	90,06	52,96	171,53	23,41	33,85	19,43	38,56
11:28:49 p.m.	172,41	91,48	53,97	172,81	23,56	33,96	19,49	38,52
11:32:09 p.m.	175,26	92,83	54,76	174,77	23,66	34,05	19,52	38,74
11:35:29 p.m.	178,49	94,15	55,49	176,33	23,67	34,04	19,45	39,27
11:38:49 p.m.	181,55	95,59	56,21	177,75	23,75	34,09	19,42	38,97
11:42:09 p.m.	184,89	97,55	57,15	179,21	23,90	34,22	19,49	40,21
11:45:29 p.m.	187,54	99,51	57,90	180,71	24,00	34,24	19,48	39,75
11:48:49 p.m.	190,54	100,60	58,42	182,75	24,04	34,30	19,53	42,14
11:52:09 p.m.	194,35	102,31	59,25	184,22	24,20	34,42	19,58	40,05
11:55:29 p.m.	196,53	104,69	59,73	185,55	24,25	34,52	19,50	40,95
11:58:49 p.m.	200,64	106,83	60,57	187,20	24,34	34,57	19,46	40,26
12:02:09 a.m.	206,74	108,67	61,72	189,59	24,51	34,65	19,48	41,31
12:05:29 a.m.	212,41	111,36	63,29	193,15	24,76	34,74	19,62	43,42
12:08:49 a.m.	215,88	113,67	64,71	196,33	25,07	34,87	19,86	44,01
12:12:09 a.m.	220,05	116,16	66,26	199,30	25,30	34,98	19,92	43,58
12:15:29 a.m.	224,37	119,24	67,92	201,62	25,96	35,22	20,06	45,18
12:18:49 a.m.	231,75	121,68	69,52	203,72	25,88	35,21	19,93	45,23
12:22:09 a.m.	236,91	124,48	71,38	206,87	26,28	35,31	19,96	46,88
12:25:29 a.m.	241,35	127,04	72,74	210,11	26,53	35,43	20,10	46,15
12:28:49 a.m.	246,38	129,94	74,28	213,03	27,00	35,64	20,33	42,94
12:32:09 a.m.	250,41	132,87	75,54	214,91	27,18	35,64	20,09	43,30
12:35:29 a.m.	255,33	135,88	77,03	217,77	27,42	35,70	20,06	43,27
12:38:49 a.m.	259,81	139,09	78,56	221,05	27,69	35,78	20,03	43,07
12:42:09 a.m.	264,39	142,49	80,42	224,22	28,05	35,91	20,01	43,45
12:45:29 a.m.	269,34	145,92	81,91	227,17	28,33	35,95	20,02	42,96
12:48:49 a.m.	273,99	149,69	83,51	229,54	28,73	36,07	20,04	43,17
12:52:09 a.m.	279,42	154,61	86,02	231,22	29,10	36,15	19,97	43,04
12:55:29 a.m.	283,09	158,38	88,21	232,72	29,55	36,27	19,94	42,35
12:58:49 a.m.	289,02	163,34	90,06	236,95	29,97	36,38	19,96	43,88
01:02:09 a.m.	296,54	168,55	91,22	240,94	30,43	36,53	19,99	44,87
01:05:29 a.m.	304,95	174,93	94,23	245,19	31,01	36,70	20,08	44,88
01:08:49 a.m.	313,65	181,05	96,30	249,41	31,43	36,78	20,06	45,06
01:12:09 a.m.	321,96	187,49	98,61	253,97	31,94	36,86	19,98	45,90
01:15:29 a.m.	329,54	194,72	101,55	258,71	32,57	37,08	20,10	44,77

01:18:49 a.m.	338,15	202,06	104,24	263,05	33,12	37,20	20,07	47,70
01:22:09 a.m.	347,96	209,96	107,70	268,01	33,72	37,33	20,07	51,31
01:25:29 a.m.	357,26	218,07	110,94	272,69	34,55	37,57	20,29	51,27
01:28:49 a.m.	366,05	226,79	114,54	277,28	35,66	37,84	20,54	52,87
01:32:09 a.m.	375,15	235,25	118,55	281,84	36,73	38,15	20,74	52,63
01:35:29 a.m.	383,58	243,67	122,63	286,34	37,50	38,41	20,98	52,78
01:38:49 a.m.	392,16	252,20	126,91	291,06	38,36	38,72	21,16	53,35
01:42:09 a.m.	396,52	257,68	131,06	293,90	39,26	39,05	21,43	53,27
01:45:29 a.m.	403,18	264,06	134,41	297,92	40,21	39,30	21,42	50,52
01:48:49 a.m.	414,26	274,28	138,75	304,73	41,24	39,62	21,43	50,48
01:52:09 a.m.	423,90	284,05	143,40	312,29	42,47	39,89	21,42	50,27
01:55:29 a.m.	433,76	293,69	148,32	317,17	43,77	40,22	21,38	56,21
01:58:49 a.m.	443,24	303,30	153,43	323,89	45,22	40,63	21,47	51,00
02:02:09 a.m.	452,37	313,02	158,37	329,60	46,63	41,07	21,41	52,19
02:05:29 a.m.	461,20	322,84	163,70	334,68	48,32	41,47	21,39	57,55
02:08:49 a.m.	469,94	333,21	170,14	341,68	50,18	41,94	21,69	58,41
02:12:09 a.m.	478,46	343,20	176,38	346,75	51,95	42,46	21,87	58,92
02:15:29 a.m.	471,62	338,01	180,33	346,01	53,38	43,13	22,03	60,59
02:18:49 a.m.	475,51	348,97	182,40	348,11	55,13	43,78	22,45	60,29
02:22:09 a.m.	488,98	359,16	185,30	350,54	56,61	44,37	22,60	59,09
02:25:29 a.m.	528,61	464,05	198,17	364,43	58,27	44,87	22,65	60,30
02:28:49 a.m.	575,92	483,01	215,76	346,27	61,02	45,39	22,84	59,37
02:32:09 a.m.	589,71	479,12	238,25	388,35	64,40	46,07	23,10	62,53
02:35:29 a.m.	628,22	473,26	265,30	407,97	68,24	46,70	23,53	62,93
02:38:49 a.m.	664,94	476,68	294,30	426,73	72,79	47,44	24,05	63,28
02:42:09 a.m.	691,35	483,16	322,32	441,01	78,04	48,27	24,28	59,47
02:45:29 a.m.	711,64	490,10	343,20	456,77	83,44	49,16	24,33	58,39
02:48:49 a.m.	732,76	500,35	450,03	466,84	89,48	50,31	24,70	61,50
02:52:09 a.m.	752,66	507,99	486,20	479,94	96,10	51,54	25,23	67,35
02:55:29 a.m.	773,94	515,07	513,37	492,21	103,19	52,70	25,86	68,94
02:58:49 a.m.	795,30	523,81	537,80	504,01	110,83	53,86	26,55	64,38
03:02:09 a.m.	814,82	532,83	559,08	514,99	118,86	54,95	27,20	66,07
03:05:29 a.m.	784,37	527,53	558,97	500,84	128,39	56,32	27,73	64,21
03:08:49 a.m.	783,30	510,70	564,26	504,32	139,27	57,87	28,31	60,40
03:12:09 a.m.	786,85	499,56	571,10	507,37	152,86	59,60	29,19	61,56
03:15:29 a.m.	795,97	491,27	581,59	514,35	164,18	61,28	29,70	60,47
03:18:49 a.m.	805,96	484,77	593,36	519,67	173,04	63,06	30,02	61,26
03:22:09 a.m.	816,59	479,29	604,35	527,01	181,50	64,84	30,50	64,81
03:25:29 a.m.	827,76	475,34	616,84	532,49	190,82	66,71	31,17	73,92
03:28:49 a.m.	837,11	471,87	628,68	540,02	199,93	68,63	31,91	68,80
03:32:09 a.m.	846,14	468,96	639,41	548,07	208,55	70,63	32,93	74,51

03:35:29 a.m.	854,85	466,45	649,96	554,97	217,88	72,52	33,95	73,48
03:38:49 a.m.	862,31	464,17	658,95	563,30	223,50	74,26	34,96	73,48
03:42:09 a.m.	869,69	462,38	668,17	568,91	232,68	76,16	35,89	77,97
03:45:29 a.m.	829,55	461,00	639,38	484,98	241,09	78,04	37,03	98,74
03:48:49 a.m.	813,74	458,87	619,60	474,39	242,65	80,20	37,85	106,33
03:52:09 a.m.	803,17	456,48	611,14	522,05	245,81	82,31	38,75	105,20
03:55:29 a.m.	797,31	453,96	603,75	558,76	249,13	84,36	39,46	106,99
03:58:49 a.m.	795,68	452,29	598,27	617,08	251,82	86,22	40,21	103,94
04:02:09 a.m.	793,83	451,11	595,58	627,41	253,46	87,93	40,76	103,09
04:05:29 a.m.	791,47	450,34	593,68	623,95	256,49	89,47	41,38	103,40
04:08:49 a.m.	790,31	450,32	592,79	614,93	258,16	90,82	41,92	107,13
04:12:09 a.m.	788,98	451,11	592,34	638,61	259,23	92,11	42,52	104,83
04:15:29 a.m.	788,05	451,25	591,97	644,24	260,31	93,23	42,97	107,78
04:18:49 a.m.	785,94	451,88	591,38	639,10	260,94	94,15	43,19	109,03
04:22:09 a.m.	786,52	452,95	591,36	641,65	261,33	95,13	43,35	111,45
04:25:29 a.m.	786,41	454,66	592,19	651,57	261,60	96,09	43,66	110,30
04:28:49 a.m.	785,73	455,98	592,10	664,53	261,88	96,90	43,75	112,99
04:32:09 a.m.	786,28	457,86	593,05	686,86	261,97	97,61	44,06	109,16
04:35:29 a.m.	786,64	459,70	594,13	681,26	262,75	98,35	44,30	116,04
04:38:49 a.m.	787,30	461,76	594,75	605,84	264,78	98,88	48,24	114,22
04:42:09 a.m.	786,83	463,80	594,34	577,50	264,42	99,29	48,47	113,75
04:45:29 a.m.	787,92	466,05	595,02	563,56	264,27	99,93	48,60	111,66
04:48:49 a.m.	789,11	468,26	595,70	541,58	264,23	100,60	48,83	108,37
04:52:09 a.m.	789,32	470,62	597,18	562,20	264,25	100,94	48,95	106,46
04:55:29 a.m.	789,98	473,02	597,79	602,28	264,31	101,41	48,94	83,82
04:58:49 a.m.	788,36	475,57	600,93	593,40	264,85	101,83	48,89	82,45
05:02:09 a.m.	806,55	478,09	608,98	661,79	266,64	102,03	48,62	92,70
05:05:29 a.m.	833,11	479,70	631,07	667,30	268,06	102,26	48,83	96,29
05:08:49 a.m.	842,54	479,73	645,07	670,03	269,39	102,30	49,30	100,19
05:12:09 a.m.	841,53	479,55	653,30	671,85	271,10	102,69	49,97	109,65
05:15:29 a.m.	842,75	479,54	658,60	674,15	273,13	102,94	50,97	119,94
05:18:49 a.m.	844,82	479,72	664,44	676,52	275,07	103,37	51,92	118,33
05:22:09 a.m.	846,91	480,20	669,73	678,91	276,61	103,91	52,82	127,23
05:25:29 a.m.	851,74	480,91	674,94	681,09	278,94	104,43	53,92	127,89
05:28:49 a.m.	855,47	481,71	678,94	685,18	281,08	105,11	55,04	127,99
05:32:09 a.m.	860,19	482,45	683,14	688,56	283,36	105,90	56,64	127,41
05:35:29 a.m.	861,81	483,41	686,70	690,76	284,45	106,60	58,21	131,56
05:38:49 a.m.	863,60	484,29	690,85	692,85	285,99	107,74	59,97	135,08
05:42:09 a.m.	888,77	485,23	705,74	696,98	287,79	108,18	61,84	171,57
05:45:29 a.m.	901,16	486,45	720,74	702,51	291,83	109,18	63,87	187,42
05:48:49 a.m.	909,52	487,98	732,73	706,81	295,92	110,21	65,84	198,74

05:52:09 a.m.	917,53	489,85	742,10	711,64	300,14	111,37	68,00	204,15
05:55:29 a.m.	921,76	491,72	747,75	717,01	303,68	112,63	70,16	213,46
05:58:49 a.m.	921,48	493,65	752,09	720,27	307,18	114,12	72,35	221,38
06:02:09 a.m.	923,87	495,40	757,03	724,31	310,90	115,77	74,63	230,55
06:05:29 a.m.	925,95	497,18	761,82	729,68	314,52	117,47	76,79	229,52
06:08:49 a.m.	929,35	499,26	764,72	734,90	317,31	118,98	78,77	202,34
06:12:09 a.m.	937,16	500,76	770,05	745,05	321,05	120,42	81,10	238,15
06:15:29 a.m.	941,63	502,20	788,25	737,01	325,82	121,56	83,21	231,51
06:18:49 a.m.	905,23	504,86	760,30	774,28	328,75	123,19	85,25	235,92
06:22:09 a.m.	892,12	506,21	747,16	777,01	331,24	125,10	87,31	250,94
06:25:29 a.m.	883,71	507,07	738,37	782,01	332,95	126,95	89,19	257,33
06:28:49 a.m.	877,17	507,36	731,54	780,66	334,22	128,84	91,13	261,70
06:32:09 a.m.	871,91	507,93	726,15	784,60	334,15	130,08	92,60	273,12
06:35:29 a.m.	867,13	508,49	721,67	788,63	333,55	131,45	94,01	278,96
06:38:49 a.m.	862,95	509,34	717,68	785,07	332,74	132,59	95,28	284,41
06:42:09 a.m.	859,11	510,36	714,23	789,00	331,56	133,44	96,34	286,33
06:45:29 a.m.	855,51	511,60	710,80	788,05	330,12	134,15	97,17	287,70
06:48:49 a.m.	852,01	512,74	707,67	785,36	328,80	134,84	97,98	285,35
06:52:09 a.m.	849,00	514,33	704,84	789,40	327,25	135,43	98,66	284,12
06:55:29 a.m.	845,78	515,84	701,85	785,74	325,70	135,72	99,11	283,02
06:58:49 a.m.	842,78	517,69	699,37	787,30	324,19	136,09	99,59	284,52
07:02:09 a.m.	839,76	519,36	696,75	787,91	322,41	136,19	100,00	282,99
07:05:29 a.m.	837,25	521,39	694,55	805,90	320,99	136,42	100,29	297,89
07:08:49 a.m.	834,96	523,42	692,24	810,56	319,40	136,61	100,65	302,54
07:12:09 a.m.	832,02	525,62	689,85	811,68	317,68	136,57	100,92	298,89
07:15:29 a.m.	829,10	527,65	686,81	814,14	315,78	136,47	101,01	301,35
07:18:49 a.m.	827,06	529,98	686,02	813,13	315,01	136,47	101,61	312,13
07:22:09 a.m.	825,21	532,31	684,75	815,15	313,93	136,46	102,05	313,10
07:25:29 a.m.	823,02	534,73	683,26	811,93	312,94	136,51	102,76	317,23
07:28:49 a.m.	820,82	536,99	681,65	812,20	311,51	135,96	103,05	321,29
07:32:09 a.m.	822,67	539,47	689,48	810,14	319,13	139,27	108,52	386,39
07:35:29 a.m.	821,25	541,84	692,61	807,59	323,40	141,76	114,81	395,04
07:38:49 a.m.	818,94	544,45	692,89	806,24	325,56	144,04	120,57	398,62
07:42:09 a.m.	814,98	546,78	691,35	808,84	322,77	144,67	122,95	373,37
07:45:29 a.m.	812,42	549,38	683,15	797,21	321,03	145,48	124,44	369,74
07:48:49 a.m.	809,50	551,97	678,02	786,83	319,16	145,89	125,18	362,77
07:52:09 a.m.	806,55	554,72	678,99	782,13	318,36	146,22	126,13	363,98
07:55:29 a.m.	804,07	557,34	678,77	776,36	318,13	146,79	127,56	362,27
07:58:49 a.m.	801,25	559,87	677,72	773,15	318,30	147,45	129,20	364,16
08:02:09 a.m.	798,73	562,47	675,84	769,34	318,13	148,15	130,50	363,66
08:05:29 a.m.	796,26	565,02	674,57	764,99	317,73	148,67	131,76	364,27

08:08:49 a.m.	793,48	567,53	672,76	762,44	317,38	149,39	133,03	365,74
08:12:09 a.m.	790,76	569,96	670,45	759,31	316,78	149,97	134,21	366,32
08:15:29 a.m.	788,21	572,44	668,57	756,50	316,06	150,61	135,29	367,71
08:18:49 a.m.	785,72	574,80	667,08	753,19	315,26	151,05	136,32	367,15
08:22:09 a.m.	782,91	577,16	665,38	749,90	314,80	151,76	137,52	366,95
08:25:29 a.m.	779,80	579,43	662,17	747,34	314,12	152,27	138,14	368,39
08:28:49 a.m.	777,02	581,66	660,83	744,93	313,34	152,61	138,88	371,79
08:32:09 a.m.	774,40	583,81	658,74	742,17	312,55	153,06	139,56	370,00
08:35:29 a.m.	771,86	585,97	657,48	739,31	311,55	153,33	140,22	372,19
08:38:49 a.m.	768,93	588,03	654,81	737,12	310,65	153,63	140,98	372,57
08:42:09 a.m.	766,17	590,08	652,92	734,89	309,83	154,02	141,77	371,47
08:45:29 a.m.	763,73	592,17	650,41	732,02	308,73	154,48	142,26	372,37
08:48:49 a.m.	760,68	593,96	648,34	729,13	307,64	154,59	142,72	373,63
08:52:09 a.m.	758,25	595,94	645,21	726,71	306,90	155,12	143,22	372,70
08:55:29 a.m.	755,10	597,63	646,10	724,09	305,35	155,22	143,20	371,95
08:58:49 a.m.	752,39	599,37	643,47	722,04	303,55	155,28	142,63	370,15
09:02:09 a.m.	749,55	601,00	637,86	720,04	302,18	155,42	142,90	370,52
09:05:29 a.m.	746,62	602,78	633,87	717,42	300,17	155,40	142,40	369,53
09:08:49 a.m.	743,62	604,46	631,24	714,38	298,74	155,27	141,79	369,46
09:12:09 a.m.	740,54	605,91	628,77	712,44	297,52	155,35	141,38	366,20
09:15:29 a.m.	737,50	607,44	627,22	709,72	295,66	155,49	140,94	369,39
09:18:49 a.m.	734,60	608,87	625,95	707,24	294,74	155,64	141,07	367,57
09:22:09 a.m.	731,96	610,30	624,73	704,77	293,67	155,86	141,64	366,12
09:25:29 a.m.	728,91	611,75	627,13	702,68	294,27	156,71	143,00	372,14
09:28:49 a.m.	726,37	613,02	627,56	700,99	294,86	157,28	145,14	373,76
09:32:09 a.m.	723,61	614,05	626,70	698,27	294,80	158,26	147,11	372,79
09:35:29 a.m.	721,10	615,16	625,56	696,25	294,67	158,70	149,08	371,42
09:38:49 a.m.	718,16	616,34	624,05	694,77	294,49	159,38	151,01	373,97
09:42:09 a.m.	715,58	617,33	622,14	691,88	294,08	160,18	152,93	373,11
09:45:29 a.m.	712,53	618,27	621,01	690,24	293,39	160,50	154,33	373,14
09:48:49 a.m.	709,69	619,23	618,83	687,59	292,75	160,76	155,72	370,78
09:52:09 a.m.	706,98	620,10	616,98	685,43	292,12	161,07	157,20	372,25
09:55:29 a.m.	704,29	620,98	615,30	683,53	291,50	161,47	158,88	372,80
09:58:49 a.m.	701,97	621,84	613,44	681,25	290,85	161,81	160,02	371,58
10:02:09 a.m.	698,75	622,62	611,57	678,70	290,42	162,27	161,13	370,72
10:05:29 a.m.	695,50	623,26	609,47	676,83	289,75	162,79	162,42	371,34
10:08:49 a.m.	692,69	623,79	607,19	674,78	288,38	162,72	163,53	368,70
10:12:09 a.m.	689,36	624,45	605,15	671,92	287,83	163,24	164,70	369,00
10:15:29 a.m.	686,57	625,21	602,52	669,89	286,97	164,01	165,29	370,85
10:18:49 a.m.	683,37	625,67	600,15	667,64	285,52	163,99	165,85	369,85
10:22:09 a.m.	680,66	626,36	597,94	665,63	285,44	164,71	166,53	367,34

10:25:29 a.m.	677,96	627,21	596,08	663,94	284,70	165,35	167,67	367,00
10:28:49 a.m.	674,27	627,55	591,84	661,23	281,72	165,30	167,10	357,92
10:32:09 a.m.	670,92	627,72	585,61	659,88	277,96	164,56	163,49	351,01
10:35:29 a.m.	667,86	627,75	583,68	656,28	277,11	164,26	162,30	358,67
10:38:49 a.m.	664,61	628,25	581,68	654,91	276,48	164,74	162,43	356,43
10:42:09 a.m.	661,40	628,66	591,96	651,64	275,02	164,70	161,77	354,49
10:45:29 a.m.	658,48	628,67	598,29	649,18	273,22	164,41	160,60	354,76
10:48:49 a.m.	655,59	628,92	597,77	646,76	272,06	164,58	160,65	358,38
10:52:09 a.m.	652,42	629,01	596,84	645,10	270,66	164,29	160,51	355,76
10:55:30 a.m.	649,74	629,14	595,76	642,55	269,95	164,43	161,28	356,76
10:58:50 a.m.	646,46	629,15	594,48	639,96	269,64	164,47	162,82	355,79
11:02:10 a.m.	643,87	629,34	592,88	637,61	269,49	164,73	165,10	355,87
11:05:30 a.m.	640,41	629,39	591,07	635,12	268,84	164,84	167,15	357,94
11:08:50 a.m.	637,46	629,35	589,19	632,18	268,54	164,82	169,59	354,88
11:12:10 a.m.	634,25	629,34	586,98	628,57	268,14	165,04	172,42	353,03
11:15:30 a.m.	630,84	629,14	580,06	627,08	264,50	165,10	172,07	346,06
11:18:50 a.m.	627,40	629,04	579,74	623,98	264,17	164,82	172,93	352,05
11:22:10 a.m.	624,41	629,08	576,06	621,86	262,91	165,07	172,99	352,43
11:25:30 a.m.	621,10	629,04	573,32	619,43	261,57	164,91	172,80	352,14
11:28:50 a.m.	617,69	629,03	570,92	616,61	260,51	164,67	173,32	352,52
11:32:10 a.m.	614,36	628,84	567,48	614,29	258,89	164,39	173,38	351,18
11:35:30 a.m.	610,82	628,83	564,59	612,12	257,20	164,18	173,07	351,96
11:38:50 a.m.	607,16	628,57	561,58	608,77	255,77	163,88	172,72	350,96
11:42:10 a.m.	603,46	628,32	558,24	605,99	253,73	163,31	172,25	349,95
11:45:30 a.m.	599,75	628,16	554,03	602,92	251,54	163,09	171,53	346,94
11:48:50 a.m.	596,44	628,09	552,03	600,38	250,36	162,96	171,08	347,51
11:52:10 a.m.	592,64	627,86	549,07	598,41	249,04	162,75	171,16	348,23
11:55:30 a.m.	589,25	627,45	546,71	594,76	248,31	162,72	171,89	346,90
11:58:50 a.m.	585,58	627,04	543,90	591,50	247,52	162,46	172,60	344,46
12:02:10 p.m.	581,56	626,73	540,95	589,44	246,58	162,04	173,04	346,07
12:05:30 p.m.	578,00	626,18	539,44	586,70	247,56	162,06	175,08	345,03
12:08:50 p.m.	574,61	625,68	537,67	583,61	248,22	161,89	178,07	345,58
12:12:10 p.m.	570,76	625,14	535,19	580,80	248,23	162,17	180,80	342,05
12:15:30 p.m.	567,11	624,65	532,10	577,71	247,12	162,03	182,80	341,39
12:18:50 p.m.	563,52	624,21	529,37	575,28	246,31	161,87	185,03	340,66
12:22:10 p.m.	559,93	623,71	526,88	572,25	245,70	161,71	187,60	339,19
12:25:30 p.m.	556,26	623,26	524,18	569,69	245,24	161,61	189,97	340,83
12:28:50 p.m.	552,63	622,77	521,35	567,28	244,68	161,37	192,29	336,94
12:32:10 p.m.	548,81	622,28	518,31	563,85	243,63	161,16	194,05	338,66
12:35:30 p.m.	545,31	621,79	515,65	560,80	243,35	161,06	196,12	335,39
12:38:50 p.m.	541,84	621,17	512,94	558,19	243,01	160,76	198,16	334,60

12:42:10 p.m.	537,94	620,53	509,89	555,86	242,01	160,34	199,35	333,71
12:45:30 p.m.	534,19	619,81	506,91	553,41	241,26	159,92	200,53	330,32
12:48:50 p.m.	530,50	619,06	504,20	550,73	240,73	159,71	202,14	326,31
12:52:10 p.m.	527,15	618,36	496,31	548,41	234,40	158,97	196,61	320,11
12:55:30 p.m.	523,94	617,67	490,39	546,46	229,69	157,93	189,40	315,77
12:58:50 p.m.	520,84	616,70	485,17	544,53	224,81	156,56	180,58	310,38
01:02:10 p.m.	517,73	616,28	481,69	541,86	222,14	155,65	173,61	314,06
01:05:30 p.m.	514,32	615,40	476,53	541,37	218,41	154,44	166,28	311,05
01:08:50 p.m.	510,94	614,55	471,81	538,07	214,70	153,23	159,32	306,25
01:12:10 p.m.	507,19	613,46	467,18	535,60	211,18	151,80	153,10	306,55
01:15:30 p.m.	503,67	612,52	463,66	532,47	208,86	150,83	147,74	310,39
01:18:50 p.m.	499,17	611,52	464,94	530,35	210,48	150,19	148,71	316,10
01:22:10 p.m.	495,74	610,52	466,14	526,45	212,98	149,63	152,92	316,75
01:25:30 p.m.	492,39	609,48	464,30	523,52	212,62	149,60	157,43	312,95
01:28:50 p.m.	488,85	608,62	460,63	520,32	211,85	149,61	160,10	313,15
01:32:10 p.m.	485,36	607,81	457,27	518,63	210,91	149,62	161,16	310,09
01:35:30 p.m.	481,90	607,09	454,17	515,15	210,11	149,53	161,96	312,54
01:38:50 p.m.	478,53	606,49	451,62	513,44	209,81	149,39	162,81	308,91
01:42:10 p.m.	475,02	605,86	448,28	510,93	208,67	149,04	163,23	311,05
01:45:30 p.m.	471,67	605,19	445,27	508,69	208,09	149,00	163,53	309,48
01:48:50 p.m.	468,00	604,26	441,87	506,34	206,93	148,70	163,64	309,16
01:52:10 p.m.	464,44	603,18	438,90	503,50	206,32	148,57	163,93	306,55
01:55:30 p.m.	460,74	602,23	436,04	502,20	205,42	148,37	163,91	304,06
01:58:50 p.m.	455,44	601,17	431,35	500,35	201,92	147,96	161,01	301,94
02:02:10 p.m.	453,68	600,14	428,70	496,90	201,99	147,54	160,67	304,49
02:05:30 p.m.	448,98	598,96	425,38	496,49	199,99	147,27	159,28	299,26
02:08:50 p.m.	445,08	597,79	421,29	493,96	197,63	146,94	157,45	298,14
02:12:10 p.m.	441,25	596,54	417,38	491,18	195,29	146,37	154,89	298,54
02:15:30 p.m.	437,05	595,34	413,50	488,60	192,99	145,91	152,26	294,18
02:18:50 p.m.	433,41	594,00	409,84	486,11	190,80	145,35	149,64	293,13
02:22:10 p.m.	428,21	592,66	405,21	484,13	188,07	144,69	146,16	292,07
02:25:30 p.m.	423,51	591,35	400,48	480,87	185,59	144,08	142,22	292,21
02:28:50 p.m.	420,45	589,76	397,41	478,64	183,71	143,48	139,89	290,15
02:32:10 p.m.	417,30	588,32	394,17	477,54	182,28	143,06	138,64	292,37
02:35:30 p.m.	414,51	586,83	391,29	474,77	181,19	142,62	138,18	290,98
02:38:50 p.m.	411,17	585,33	388,11	472,25	179,58	142,08	137,02	288,10
02:42:10 p.m.	407,50	583,59	384,57	470,73	177,74	141,63	136,43	284,89
02:45:30 p.m.	401,93	582,06	380,43	469,32	174,98	141,10	133,69	283,43
02:48:50 p.m.	397,54	580,60	376,24	467,06	172,85	140,59	131,06	282,19
02:52:10 p.m.	394,20	579,61	372,88	465,49	171,50	140,73	129,34	281,97
02:55:30 p.m.	390,53	578,11	369,58	463,75	169,53	140,23	127,39	279,21

02:58:50 p.m.	386,72	576,32	365,77	461,50	167,73	139,47	125,50	281,26
03:02:10 p.m.	346,36	364,27	225,29	459,22	189,31	138,73	43,16	278,50
03:05:30 p.m.	107,54	122,29	87,94	457,24	89,91	37,87	32,11	277,25
03:08:50 p.m.	57,87	63,34	49,79	454,35	57,03	35,26	31,31	277,98
03:12:10 p.m.	41,75	45,96	38,52	446,70	46,91	33,57	31,07	278,71
03:15:30 p.m.	35,61	38,56	34,40	441,14	40,72	32,92	31,66	279,26
03:18:50 p.m.	33,78	35,84	32,17	438,30	37,85	32,30	32,08	275,57
03:22:10 p.m.	32,66	33,91	30,44	426,20	35,66	31,25	31,81	286,78
03:25:30 p.m.	31,88	31,69	28,50	422,74	34,12	30,06	30,89	290,25
03:28:50 p.m.	31,36	32,19	28,92	418,70	33,33	30,25	31,20	291,61
03:32:10 p.m.	31,73	33,09	30,66	423,08	33,22	30,83	31,80	291,72
03:35:30 p.m.	31,66	33,16	30,88	406,31	32,91	29,98	31,89	295,26
03:38:50 p.m.	30,76	32,22	30,68	403,15	32,51	30,45	31,91	294,75
03:42:10 p.m.	30,01	31,53	30,00	198,55	31,77	30,05	31,70	37,95
03:45:30 p.m.	29,03	30,59	29,99	96,72	30,67	29,87	31,74	34,61
03:48:50 p.m.	30,34	31,80	30,28	60,14	31,37	29,69	31,72	34,27
03:52:10 p.m.	30,40	31,90	30,54	49,06	31,00	29,74	31,76	34,18
03:55:30 p.m.	29,33	31,03	29,88	43,68	30,89	29,51	31,55	34,14
03:58:50 p.m.	28,63	30,36	29,51	40,27	30,16	29,29	31,39	34,15
04:02:10 p.m.	28,18	29,94	29,08	37,18	29,85	28,96	31,09	33,74
04:05:30 p.m.	28,25	30,04	29,15	35,63	29,72	28,48	30,99	33,83
04:08:50 p.m.	28,20	29,94	28,77	33,89	29,27	28,23	30,46	32,87
04:12:10 p.m.	28,47	30,15	28,93	32,91	29,26	28,09	30,40	32,67
04:15:30 p.m.	28,39	29,96	28,18	31,92	28,80	27,71	29,77	31,78
04:18:50 p.m.	28,27	29,93	28,11	31,06	28,72	27,68	29,55	31,48
04:22:10 p.m.	27,66	29,40	28,36	30,69	28,42	27,20	29,45	31,21
04:25:30 p.m.	27,68	29,41	28,24	30,13	28,11	27,20	29,18	30,79
04:28:50 p.m.	27,71	29,51	28,20	29,84	28,00	27,03	28,98	30,53
04:32:10 p.m.	27,42	29,31	28,20	29,80	27,99	27,03	29,02	30,55
04:35:30 p.m.	27,45	29,28	27,71	30,16	27,61	26,41	28,45	30,51
04:38:50 p.m.	27,45	29,24	27,90	31,45	27,50	26,76	28,68	31,31
04:42:10 p.m.	26,76	28,58	27,64	31,25	26,95	26,51	28,34	31,42
04:45:30 p.m.	26,76	28,65	27,50	30,94	26,91	26,09	28,13	31,16
04:48:50 p.m.	26,34	28,22	27,38	30,36	26,50	26,01	28,02	30,90
04:52:10 p.m.	27,10	28,94	27,03	31,32	26,79	25,87	28,02	31,30
04:55:30 p.m.	27,47	29,27	27,22	31,47	26,75	25,87	27,96	31,37
04:58:50 p.m.	26,67	28,52	27,46	31,39	26,58	25,98	27,97	31,44
05:02:10 p.m.	26,71	28,60	27,54	32,06	26,66	25,94	27,99	31,92
05:05:30 p.m.	27,33	29,26	27,40	31,34	26,59	25,91	27,91	31,31
05:08:50 p.m.	2297,71	2297,71	2297,71	2297,71	2297,71	2297,71	2297,71	2297,71
05:12:10 p.m.	2298,25	2298,25	2298,25	2298,25	2298,25	2298,25	2298,25	2298,25

ANEXO L. Adquisición de temperaturas en el horno Circular

REPORTE DE LA ADQUISICIÓN HORNO 2.1. Operador: Daniel Ernesto Marrugo Carreazo Fecha: miércoles, 22 de abril de 2015 Hora: 12:08:12 p.m. Tipo de horno: Horno circular Temperatura en °C						T_1 Temp. Centro interior. T_2 Temp. Piso interior. T_3 Temp. Pared interior. T_4 Temp. Cúpula interior. T_5 Temp. Centro exterior. T_6 Temp. Piso exterior. T_7 Temp. Pared exterior. T_8 Temp. Cúpula exterior.		
TIEMPO	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8
04:38:16 p.m.	63,24	67,21	87,39	47,77	30,05	33,32	63,15	20,65
04:43:16 p.m.	63,57	67,83	71,96	55,13	31,04	33,48	63,45	21,09
04:48:16 p.m.	63,81	68,25	88,80	56,09	32,43	33,65	63,94	21,22
04:53:16 p.m.	64,05	68,54	98,34	54,29	33,87	33,75	63,78	20,85
04:58:16 p.m.	63,72	68,20	93,18	51,28	32,39	33,82	62,87	20,45
05:03:16 p.m.	63,88	68,38	96,09	49,83	30,88	33,89	63,31	20,46
05:08:16 p.m.	64,10	68,71	101,17	48,23	30,41	33,90	63,84	20,30
05:13:16 p.m.	63,92	68,93	97,08	50,70	29,44	33,92	63,61	20,37
05:18:16 p.m.	63,72	69,40	91,56	55,49	28,34	33,98	63,30	20,34
05:23:16 p.m.	63,64	69,51	91,95	50,91	26,93	33,89	63,15	20,44
05:28:16 p.m.	63,64	69,53	100,93	50,59	26,58	33,86	64,20	20,35
05:33:16 p.m.	63,75	69,83	106,76	49,41	27,76	33,94	64,99	20,26
05:38:16 p.m.	63,82	70,07	109,53	43,02	28,63	34,00	65,83	20,13
05:43:16 p.m.	63,76	70,22	108,00	47,73	28,81	34,02	65,83	20,19
05:48:16 p.m.	63,75	70,44	109,02	46,83	28,63	34,03	66,05	20,28
05:53:16 p.m.	63,71	70,72	106,35	51,82	28,18	34,12	66,13	20,09
05:58:16 p.m.	63,70	70,78	110,25	45,46	27,43	34,18	66,85	20,19
06:03:16 p.m.	63,75	70,94	109,85	49,91	27,31	34,32	67,28	20,23
06:08:16 p.m.	63,79	71,11	108,87	51,34	27,20	34,50	67,56	20,14
06:13:16 p.m.	63,99	71,13	115,15	51,75	26,94	34,58	68,97	20,31
06:18:16 p.m.	64,32	71,32	118,78	54,61	28,29	34,80	69,80	20,14
06:23:16 p.m.	64,47	71,29	121,51	52,87	29,22	35,08	70,21	20,11
06:28:16 p.m.	64,57	71,26	123,41	56,31	29,59	35,28	70,80	20,15
06:33:16 p.m.	64,92	71,47	125,51	54,36	30,47	35,51	71,51	20,12
06:38:16 p.m.	65,06	71,44	126,17	56,58	31,05	35,77	71,99	20,14
06:43:16 p.m.	65,41	71,58	126,89	55,41	31,56	36,01	72,62	20,27
06:48:16 p.m.	65,73	71,69	125,28	55,44	32,00	36,28	73,22	20,28
06:53:16 p.m.	66,00	71,75	126,18	56,04	32,44	36,48	73,67	20,17
06:58:16 p.m.	66,35	71,88	127,56	56,38	32,73	36,71	74,07	20,02
07:03:16 p.m.	66,55	71,91	127,74	57,08	32,77	36,92	74,51	19,99
07:08:16 p.m.	66,85	72,03	129,11	56,91	32,82	37,10	74,93	20,00

07:13:16 p.m.	67,14	72,21	132,01	52,31	33,09	37,23	76,01	19,97
07:18:16 p.m.	66,96	72,01	129,06	53,36	32,72	37,06	75,29	19,84
07:23:16 p.m.	67,12	72,07	130,22	54,48	32,03	37,12	75,67	19,81
07:28:16 p.m.	67,19	72,24	127,18	55,44	30,75	37,22	75,66	19,75
07:33:16 p.m.	67,21	72,21	131,17	56,65	30,79	37,22	76,17	19,76
07:38:16 p.m.	67,12	72,30	127,70	53,52	30,35	37,35	75,77	19,72
07:43:16 p.m.	67,18	72,33	129,12	50,75	29,61	37,43	76,25	19,85
07:48:16 p.m.	67,20	72,39	130,68	51,38	29,01	37,48	76,90	19,90
07:53:16 p.m.	67,22	72,52	132,35	57,76	29,28	37,60	76,80	20,01
07:58:16 p.m.	67,08	72,51	131,51	59,01	29,12	37,76	76,81	19,84
08:03:16 p.m.	67,22	72,62	133,32	58,41	28,86	37,90	77,17	20,01
08:08:16 p.m.	67,30	72,76	135,85	57,99	29,52	38,06	77,20	19,91
08:13:16 p.m.	67,48	72,85	138,05	57,60	30,34	38,26	77,19	19,85
08:18:16 p.m.	67,60	72,95	136,86	58,08	30,54	38,43	77,10	19,88
08:23:16 p.m.	67,70	73,01	139,21	58,46	30,67	38,59	77,33	19,93
08:28:16 p.m.	67,75	73,03	141,12	53,49	31,15	38,68	77,37	19,86
08:33:16 p.m.	67,80	73,10	139,25	58,35	31,35	38,83	77,09	19,73
08:38:16 p.m.	67,86	73,13	142,63	57,90	31,39	38,76	77,15	19,94
08:43:16 p.m.	67,95	73,27	145,92	56,73	32,13	38,78	76,90	19,95
08:48:16 p.m.	67,86	73,25	145,97	50,04	32,73	38,55	76,60	19,79
08:53:16 p.m.	67,77	73,25	141,31	51,52	32,05	38,50	76,52	19,80
08:58:16 p.m.	67,53	73,20	136,32	55,58	29,84	38,41	76,37	19,78
09:03:16 p.m.	67,36	73,23	136,23	56,21	28,99	38,54	76,78	19,64
09:08:16 p.m.	67,48	73,54	187,79	58,32	28,89	38,74	77,18	19,71
09:13:16 p.m.	67,59	73,85	194,53	55,04	29,27	38,90	77,13	20,06
09:18:16 p.m.	67,36	73,98	190,32	54,13	29,18	39,01	76,45	19,88
09:23:16 p.m.	67,16	74,12	185,56	49,92	27,94	39,00	76,26	19,76
09:28:16 p.m.	66,96	74,00	192,42	55,49	27,59	38,77	77,24	19,72
09:33:16 p.m.	66,87	74,17	192,12	54,65	27,44	38,88	77,32	19,65
09:38:16 p.m.	66,65	74,22	228,76	54,40	27,07	38,86	77,18	19,53
09:43:16 p.m.	66,80	74,42	237,97	51,94	26,69	38,88	77,76	19,61
09:48:16 p.m.	66,63	74,53	240,14	55,61	26,88	38,91	77,74	19,65
09:53:16 p.m.	66,77	74,76	245,58	57,34	26,92	39,02	78,33	19,61
09:58:16 p.m.	66,69	74,88	246,21	57,06	27,28	39,18	78,70	19,51
10:03:16 p.m.	66,87	75,16	248,36	57,24	27,58	39,40	79,16	19,55
10:08:16 p.m.	66,91	75,13	244,60	57,32	27,40	39,48	79,68	19,47
10:13:17 p.m.	67,01	75,25	246,68	58,12	27,04	39,50	80,37	19,40
10:18:17 p.m.	66,87	75,30	244,16	52,44	26,87	39,52	80,80	19,19
10:23:17 p.m.	66,93	75,56	244,49	55,90	27,12	39,51	81,11	19,28
10:28:17 p.m.	67,04	75,79	247,75	52,65	26,81	39,50	81,74	19,16
10:33:17 p.m.	66,86	75,80	244,53	58,39	26,44	39,51	82,33	19,09

10:38:17 p.m.	66,86	76,02	246,08	59,02	26,15	39,61	82,95	18,95
10:43:17 p.m.	66,72	76,22	240,56	58,84	25,70	39,70	82,89	18,85
10:48:17 p.m.	66,58	76,18	246,61	57,36	25,18	39,58	84,08	18,92
10:53:17 p.m.	66,63	76,77	256,51	56,02	25,77	39,64	84,21	19,07
10:58:17 p.m.	66,65	77,05	254,29	57,63	26,45	39,68	84,91	19,00
11:03:17 p.m.	66,69	77,26	255,80	57,74	26,45	39,90	85,77	18,92
11:08:17 p.m.	66,85	77,52	254,56	57,65	26,67	40,16	86,60	18,77
11:13:17 p.m.	66,88	77,51	252,68	56,36	26,34	40,26	87,46	18,93
11:18:17 p.m.	67,02	77,60	250,44	56,26	25,86	40,31	88,11	19,04
11:23:17 p.m.	67,14	78,15	257,64	57,36	25,96	40,41	89,03	18,94
11:28:17 p.m.	67,11	78,53	257,92	54,93	26,83	40,45	89,47	18,74
11:33:17 p.m.	67,28	78,94	259,38	51,68	27,96	40,25	90,25	18,70
11:38:17 p.m.	67,43	79,14	257,25	53,84	28,01	40,38	91,63	18,75
11:43:17 p.m.	67,53	79,53	258,35	53,84	28,64	40,32	92,36	18,67
11:48:17 p.m.	67,34	79,29	252,05	52,26	28,00	40,37	93,28	18,72
11:53:17 p.m.	67,20	79,22	251,13	52,26	26,94	40,40	94,39	18,96
11:58:17 p.m.	67,20	79,50	252,30	51,13	26,25	40,49	95,52	18,96
12:03:17 a.m.	67,08	79,62	250,85	53,49	25,58	40,49	96,44	19,13
12:08:17 a.m.	67,09	80,05	248,86	53,96	25,22	40,58	97,21	18,83
12:13:17 a.m.	67,03	80,62	252,61	49,53	25,09	40,69	98,48	18,88
12:18:17 a.m.	66,90	81,15	251,54	52,90	25,39	40,75	99,21	19,04
12:23:17 a.m.	66,95	81,44	253,40	55,55	25,25	40,82	100,40	18,93
12:28:17 a.m.	66,80	81,65	249,86	50,24	25,13	40,89	101,03	18,83
12:33:17 a.m.	66,85	82,20	253,70	56,36	25,12	40,94	102,13	18,79
12:38:17 a.m.	66,81	82,46	250,18	51,27	25,16	41,08	102,69	18,96
12:43:17 a.m.	66,64	82,63	251,09	51,76	24,92	41,02	103,52	18,95
12:48:17 a.m.	66,66	83,16	252,58	57,57	24,86	41,11	104,49	18,93
12:53:17 a.m.	66,79	84,26	257,39	57,55	25,22	41,23	105,28	18,89
12:58:17 a.m.	66,79	84,87	258,16	54,67	25,87	41,28	104,88	19,09
01:03:17 a.m.	67,06	85,47	257,67	55,63	26,41	41,52	105,53	19,16
01:08:17 a.m.	66,86	85,39	254,06	57,04	26,13	41,61	106,13	18,72
01:13:17 a.m.	66,84	84,90	250,34	55,70	25,57	41,61	106,29	18,72
01:18:17 a.m.	66,72	84,96	250,08	58,34	24,99	41,59	107,03	18,75
01:23:17 a.m.	66,93	86,38	254,43	57,91	25,03	41,74	107,96	18,83
01:28:17 a.m.	66,93	87,44	258,54	57,63	25,54	41,91	108,64	18,74
01:33:17 a.m.	66,91	87,89	259,76	58,26	26,21	41,94	109,04	18,67
01:38:17 a.m.	67,13	88,56	261,30	56,78	26,76	42,11	109,78	18,51
01:43:17 a.m.	67,31	88,91	261,47	57,96	27,05	42,17	110,41	18,55
01:48:17 a.m.	67,37	89,18	261,34	50,82	27,28	42,12	110,69	18,59
01:53:17 a.m.	67,49	89,63	263,55	46,62	27,86	41,94	111,16	18,58
01:58:17 a.m.	67,51	90,24	265,31	55,34	28,21	41,90	111,79	18,61

02:03:17 a.m.	67,77	90,66	266,23	53,36	28,11	42,16	112,84	18,60
02:08:17 a.m.	67,62	90,57	265,03	53,16	27,79	42,26	113,44	18,82
02:13:17 a.m.	67,76	91,14	267,70	52,75	27,75	42,24	114,24	18,76
02:18:17 a.m.	67,67	91,47	267,01	50,86	27,46	42,32	114,93	18,72
02:23:17 a.m.	67,71	91,98	267,93	55,98	27,45	42,35	115,59	18,87
02:28:17 a.m.	67,91	92,56	267,52	55,02	27,61	42,57	116,19	18,72
02:33:17 a.m.	67,90	92,91	268,48	56,54	27,17	42,75	117,09	18,74
02:38:17 a.m.	67,91	93,43	270,48	58,82	27,27	42,84	117,60	18,74
02:43:17 a.m.	67,95	93,81	271,90	60,19	27,17	43,01	118,34	18,63
02:48:17 a.m.	67,89	94,02	270,70	59,99	26,79	43,12	118,80	18,51
02:53:17 a.m.	67,88	93,71	269,50	59,03	26,02	43,12	119,04	18,55
02:58:17 a.m.	67,64	93,55	269,34	58,94	25,27	43,03	119,15	18,70
03:03:17 a.m.	67,28	93,35	267,17	57,99	24,49	42,89	119,26	18,77
03:08:17 a.m.	67,11	94,78	266,41	60,78	24,27	42,94	119,85	18,52
03:13:17 a.m.	66,65	94,31	263,26	55,31	23,79	42,82	119,78	18,77
03:18:17 a.m.	66,53	95,04	263,55	57,40	23,65	42,76	120,17	18,60
03:23:17 a.m.	66,52	96,03	262,50	52,46	23,54	42,80	120,94	18,96
03:28:17 a.m.	66,66	97,31	265,04	57,09	24,04	42,87	122,39	18,68
03:33:17 a.m.	66,66	97,88	266,21	59,41	24,51	42,95	123,36	18,60
03:38:17 a.m.	66,79	98,49	266,75	60,67	24,67	43,18	124,20	18,58
03:43:17 a.m.	66,79	99,03	266,87	59,83	24,82	43,39	124,80	18,60
03:48:17 a.m.	66,85	99,54	268,92	60,38	25,35	43,32	124,85	18,65
03:53:17 a.m.	66,92	100,14	269,45	60,51	25,61	43,33	125,13	18,57
03:58:17 a.m.	66,96	100,73	270,84	59,75	25,92	43,39	125,52	18,58
04:03:17 a.m.	67,01	101,37	270,88	55,94	25,75	43,53	125,87	18,60
04:08:17 a.m.	67,07	101,97	271,74	61,20	25,39	43,59	126,35	18,64
04:13:17 a.m.	67,03	102,85	272,91	61,13	25,58	43,68	126,76	18,49
04:18:17 a.m.	67,03	103,58	272,62	61,22	25,68	43,86	126,86	18,37
04:23:17 a.m.	66,97	103,96	272,45	61,87	24,97	43,84	127,29	18,42
04:28:17 a.m.	66,91	105,15	274,40	61,60	24,79	43,88	127,61	18,46
04:33:17 a.m.	66,80	105,83	274,98	61,29	24,28	43,87	127,85	18,43
04:38:17 a.m.	66,79	107,07	277,80	63,71	23,93	43,89	128,26	18,45
04:43:17 a.m.	66,65	108,64	279,62	62,52	23,75	43,98	128,75	18,39
04:48:17 a.m.	66,40	109,11	280,72	62,32	23,46	43,97	128,88	18,48
04:53:17 a.m.	66,29	110,90	281,72	57,20	23,23	43,90	129,33	18,46
04:58:17 a.m.	66,54	112,96	282,66	56,19	23,48	43,90	129,85	18,56
05:03:17 a.m.	66,45	114,51	283,57	56,84	23,65	43,88	129,77	19,26
05:08:17 a.m.	66,50	116,19	285,26	60,80	24,03	43,92	130,11	18,64
05:13:17 a.m.	66,25	117,19	286,29	60,64	23,99	43,92	130,25	18,53
05:18:17 a.m.	66,38	118,66	286,74	60,54	23,78	43,96	130,67	18,58
05:23:17 a.m.	66,02	119,46	287,48	60,87	23,53	43,94	130,75	18,34

05:28:17 a.m.	65,88	121,13	287,20	59,69	23,20	43,96	131,06	18,50
05:33:17 a.m.	65,88	123,01	285,92	51,87	23,04	43,95	131,69	18,38
05:38:17 a.m.	65,73	124,74	285,95	55,60	23,24	43,74	131,77	18,51
05:43:17 a.m.	65,64	126,10	285,97	56,99	23,08	43,71	131,95	18,45
05:48:17 a.m.	65,38	127,55	284,99	61,59	22,96	43,73	132,15	18,31
05:53:17 a.m.	65,24	128,80	285,23	63,64	22,78	43,85	132,31	18,97
05:58:17 a.m.	65,00	130,06	285,94	58,68	22,57	43,88	132,62	18,39
06:03:17 a.m.	64,61	131,11	288,85	61,39	22,35	43,90	132,91	18,49
06:08:17 a.m.	64,49	133,17	287,79	59,28	22,21	43,93	133,48	18,64
06:13:17 a.m.	64,68	135,18	287,19	57,88	22,56	43,87	133,84	18,68
06:18:17 a.m.	64,92	136,83	286,76	56,46	22,98	43,83	134,14	18,61
06:23:17 a.m.	64,91	138,20	286,61	55,38	23,41	43,76	134,21	18,68
06:28:17 a.m.	65,02	139,53	286,47	56,80	23,67	43,82	134,60	18,85
06:33:17 a.m.	64,82	140,35	286,80	53,10	23,44	43,84	134,57	18,80
06:38:17 a.m.	64,61	141,69	286,43	62,51	23,16	43,96	134,83	18,87
06:43:17 a.m.	64,23	142,39	289,10	63,53	22,91	44,15	134,91	19,49
06:48:17 a.m.	64,14	144,21	285,90	60,48	22,77	44,29	135,41	19,15
06:53:17 a.m.	63,90	145,61	286,00	63,84	22,75	44,42	135,42	19,23
06:58:17 a.m.	64,02	147,48	284,19	60,53	22,84	44,61	136,04	19,64
07:03:17 a.m.	64,25	149,52	283,86	61,90	23,19	44,91	136,61	19,93
07:08:17 a.m.	64,51	151,19	283,48	61,92	23,45	45,07	136,85	20,11
07:13:17 a.m.	64,66	152,73	282,48	62,43	23,60	45,19	137,22	20,20
07:18:17 a.m.	64,85	154,27	281,83	62,45	23,85	45,44	137,42	20,17
07:23:17 a.m.	64,86	155,76	280,08	62,60	24,23	45,51	137,46	20,00
07:28:17 a.m.	64,91	157,01	280,07	60,47	24,38	45,53	137,65	20,07
07:33:17 a.m.	65,03	158,65	278,80	62,11	24,56	45,87	138,01	20,70
07:38:17 a.m.	65,06	160,03	277,26	57,34	24,78	46,12	138,02	20,53
07:43:17 a.m.	65,15	161,48	276,47	63,22	25,05	46,38	138,19	20,81
07:48:17 a.m.	65,26	162,95	274,30	63,48	25,13	46,50	138,31	20,45
07:53:17 a.m.	65,25	164,47	273,40	61,28	25,25	46,64	138,52	20,87
07:58:17 a.m.	65,53	166,10	273,46	63,16	25,48	46,87	138,63	20,94
08:03:17 a.m.	65,82	167,67	271,96	63,86	25,78	47,20	138,97	21,21
08:08:17 a.m.	65,95	169,17	271,23	63,57	25,98	47,40	139,16	21,51
08:13:17 a.m.	65,94	170,76	271,07	64,23	26,57	47,97	139,59	21,87
08:18:17 a.m.	66,10	172,30	270,37	64,22	27,31	48,53	139,78	22,19
08:23:17 a.m.	66,22	173,74	269,45	64,11	27,82	49,05	139,88	21,45
08:28:17 a.m.	66,33	175,31	268,10	64,03	28,26	49,50	139,78	21,90
08:33:17 a.m.	66,28	176,76	269,07	65,84	28,14	49,49	139,81	21,98
08:38:17 a.m.	66,24	178,27	268,64	65,98	27,41	49,12	139,38	21,58
08:43:17 a.m.	66,28	179,90	268,55	66,24	26,90	48,89	139,17	22,16
08:48:17 a.m.	66,62	181,99	270,57	65,75	27,00	49,01	139,56	22,41

08:53:17 a.m.	66,84	183,91	266,16	66,08	26,97	49,08	139,23	22,22
08:58:17 a.m.	66,87	185,45	271,47	65,65	26,92	49,09	139,49	22,14
09:03:17 a.m.	67,05	187,17	271,74	67,23	26,93	49,15	139,37	22,02
09:08:17 a.m.	66,91	188,51	271,89	66,58	26,71	49,13	139,33	22,71
09:13:17 a.m.	67,03	190,39	272,14	66,81	26,85	49,33	139,24	23,27
09:18:17 a.m.	67,05	191,88	271,77	67,19	26,95	49,59	139,39	22,71
09:23:17 a.m.	67,08	193,67	271,72	65,56	27,10	49,81	139,79	22,66
09:28:17 a.m.	67,15	195,60	272,59	66,52	27,76	50,25	139,82	23,54
09:33:17 a.m.	67,26	197,34	271,87	67,19	28,20	50,60	139,60	23,96
09:38:17 a.m.	67,35	199,20	271,42	67,66	28,55	50,84	139,44	23,52
09:43:17 a.m.	67,60	201,21	272,30	68,96	28,80	51,06	139,48	23,98
09:48:17 a.m.	67,65	203,01	270,82	68,56	28,91	51,15	139,42	23,89
09:53:17 a.m.	67,62	204,83	271,04	68,28	28,81	51,23	139,56	24,23
09:58:17 a.m.	67,79	206,76	271,69	68,45	29,00	51,39	140,00	25,48
10:03:18 a.m.	67,65	208,20	272,50	68,89	29,14	51,67	140,40	24,88
10:08:18 a.m.	67,63	210,01	268,82	69,40	29,45	52,04	139,86	25,00
10:13:18 a.m.	67,74	211,97	267,99	69,65	29,78	52,38	139,83	25,38
10:18:18 a.m.	67,92	214,09	269,51	69,58	30,33	52,79	140,03	26,05
10:23:18 a.m.	67,87	215,93	268,12	68,87	30,63	52,79	139,82	26,22
10:28:18 a.m.	68,04	217,94	270,49	69,84	31,23	52,79	140,45	25,55
10:33:18 a.m.	68,19	220,06	270,13	70,16	31,39	54,23	140,10	25,78
10:38:18 a.m.	68,02	221,81	267,53	69,68	31,22	54,23	140,10	24,68
10:43:18 a.m.	68,02	223,70	267,04	70,14	30,83	54,05	139,85	26,28
10:48:18 a.m.	67,95	225,39	266,14	70,60	30,64	54,12	139,40	25,67
10:53:18 a.m.	67,80	226,95	265,99	69,37	30,09	53,95	139,67	25,67
10:58:18 a.m.	67,47	228,62	272,36	70,85	29,91	54,00	139,64	25,80
11:03:18 a.m.	67,61	230,33	265,52	69,71	30,31	54,00	139,97	27,06
11:08:18 a.m.	67,52	232,48	272,63	71,25	30,79	54,54	139,61	26,24
11:13:18 a.m.	67,79	234,33	264,65	69,92	30,82	54,54	139,92	28,35
11:18:18 a.m.	68,17	236,42	262,65	71,79	30,91	54,60	139,51	27,03
11:23:18 a.m.	68,04	238,30	262,59	70,54	30,71	54,32	138,55	26,91
11:28:18 a.m.	67,93	240,04	261,81	71,21	30,37	54,10	137,97	26,88
11:33:18 a.m.	68,09	242,21	260,73	71,27	30,28	53,98	137,46	26,77
11:38:18 a.m.	68,02	244,01	260,48	71,74	30,10	53,89	137,68	27,13
11:43:18 a.m.	68,01	245,84	259,29	72,15	30,06	53,86	137,96	27,94
11:48:18 a.m.	68,29	247,89	260,80	73,25	30,20	53,96	138,10	27,91
11:53:18 a.m.	68,31	249,77	259,43	73,27	30,11	53,89	137,98	27,12
11:58:18 a.m.	68,55	252,12	256,13	74,12	30,37	53,84	137,13	27,90
12:03:18 p.m.	68,54	253,95	256,75	74,60	30,29	53,80	137,11	28,83
12:08:18 p.m.	68,60	255,90	255,58	75,48	30,17	53,73	136,55	28,23
12:13:18 p.m.	68,78	257,90	254,86	75,92	30,17	53,70	136,39	28,04

12:18:18 p.m.	68,87	260,07	253,47	76,33	30,14	53,69	136,29	28,20
12:23:18 p.m.	68,84	262,13	254,37	76,55	30,33	53,75	136,25	29,63
12:28:18 p.m.	68,88	264,17	253,31	76,34	30,31	53,79	136,27	29,84
12:33:18 p.m.	69,36	266,28	251,49	77,10	30,39	53,82	136,48	28,98
12:38:18 p.m.	69,38	268,41	250,26	78,21	30,17	53,72	135,59	28,33
12:43:18 p.m.	69,59	270,67	250,64	78,75	30,07	53,70	135,18	27,69
12:48:18 p.m.	69,78	272,90	250,89	80,05	29,85	53,66	134,94	27,02
12:53:18 p.m.	69,92	275,10	250,61	80,94	29,75	53,56	134,39	30,71
12:58:18 p.m.	70,30	277,49	250,22	82,64	29,95	53,55	134,00	29,55
01:03:18 p.m.	70,05	279,68	255,52	84,86	29,97	53,60	133,54	29,60
01:08:18 p.m.	70,57	281,86	250,15	85,30	30,22	53,59	133,58	31,39
01:13:18 p.m.	71,09	284,49	249,65	86,11	31,10	53,84	133,75	28,31
01:18:18 p.m.	71,35	287,05	249,24	88,01	31,07	53,97	133,69	28,31
01:23:18 p.m.	71,35	289,48	248,78	88,01	31,06	53,97	133,14	27,72
01:28:18 p.m.	71,32	291,88	248,93	90,98	30,47	53,91	132,86	28,96
01:33:18 p.m.	71,44	294,38	247,42	90,98	30,34	53,88	132,33	28,18
01:38:18 p.m.	71,37	297,02	247,96	95,26	29,91	53,93	132,14	24,65
01:43:18 p.m.	71,64	299,69	245,33	95,26	30,63	53,10	132,17	24,83
01:48:18 p.m.	71,71	302,53	243,76	84,92	30,17	52,25	131,62	24,04
01:53:18 p.m.	71,76	305,28	242,97	84,61	29,50	52,04	131,61	24,21
01:58:18 p.m.	71,80	307,75	240,02	86,94	29,10	51,63	131,37	24,34
02:03:18 p.m.	71,96	310,37	243,16	87,87	28,36	51,93	131,37	24,17
02:08:18 p.m.	72,03	313,04	238,22	90,42	28,17	51,96	131,14	24,13
02:13:18 p.m.	72,58	315,97	239,96	90,57	28,80	52,02	130,86	23,88
02:18:18 p.m.	71,95	318,94	238,64	84,43	29,08	51,52	129,49	22,73
02:23:18 p.m.	71,75	321,34	236,81	84,82	28,49	51,33	128,49	22,86
02:28:18 p.m.	71,96	324,01	235,61	89,63	28,51	51,21	128,13	22,78
02:33:18 p.m.	71,77	326,72	242,14	88,30	27,26	51,17	126,83	21,65
02:38:18 p.m.	71,70	328,80	234,48	90,60	26,15	51,05	126,95	22,00
02:43:18 p.m.	71,72	331,93	235,74	88,27	26,80	50,90	125,91	21,72
02:48:18 p.m.	71,85	334,72	236,68	90,27	26,31	50,95	125,36	21,48
02:53:18 p.m.	71,79	337,25	235,78	91,50	25,55	50,86	125,08	21,28
02:58:18 p.m.	71,84	339,76	238,82	91,73	24,68	50,61	123,90	20,82
03:03:18 p.m.	71,71	342,10	238,69	94,56	24,15	50,17	123,65	20,87
03:08:18 p.m.	71,80	344,49	238,21	94,43	23,79	49,84	123,25	20,81
03:13:18 p.m.	72,03	346,80	236,13	96,00	23,73	49,69	122,94	21,73
03:18:18 p.m.	72,15	348,94	232,26	96,90	23,50	49,45	122,24	22,19
03:23:18 p.m.	72,07	351,08	230,37	95,89	23,40	49,24	121,69	22,28
03:28:18 p.m.	72,28	353,41	231,20	102,23	23,42	49,11	121,18	21,33
03:33:18 p.m.	72,81	355,81	226,75	103,80	23,53	48,82	120,99	22,12
03:38:18 p.m.	73,31	358,25	228,00	106,92	23,53	48,85	121,01	21,25

03:43:18 p.m.	73,61	360,72	232,26	102,20	23,11	48,79	120,72	22,41
03:48:18 p.m.	73,65	363,01	229,14	99,90	22,76	48,60	119,65	21,46
03:53:18 p.m.	73,59	365,25	225,83	102,31	22,68	48,37	119,04	20,91
03:58:18 p.m.	74,16	367,99	219,91	107,60	22,79	48,50	119,12	22,02
04:03:18 p.m.	74,62	370,99	221,73	107,53	23,05	48,72	118,95	21,20
04:08:18 p.m.	74,95	373,41	224,16	112,15	23,00	48,81	118,72	21,09
04:13:18 p.m.	75,34	375,97	225,74	119,19	23,07	49,10	118,80	21,21
04:18:18 p.m.	75,97	379,05	222,92	121,29	23,18	49,39	118,88	21,39
04:23:18 p.m.	76,73	382,43	216,40	120,95	23,31	49,59	119,00	22,21
04:28:18 p.m.	77,57	386,32	213,63	122,40	23,65	49,96	119,12	22,70
04:33:18 p.m.	77,89	389,65	215,16	117,37	23,84	50,07	118,87	21,89
04:38:18 p.m.	78,33	392,48	214,86	121,23	23,89	49,89	118,29	21,83
04:43:18 p.m.	78,63	394,87	217,51	126,18	23,72	50,18	118,22	22,09
04:48:18 p.m.	79,34	398,06	212,36	126,37	23,78	50,46	118,20	22,40
04:53:18 p.m.	79,62	400,99	216,78	128,13	23,81	50,50	117,73	21,77
04:58:18 p.m.	79,93	403,08	215,68	131,73	23,65	50,71	117,60	21,61
05:03:18 p.m.	80,31	405,82	216,39	133,88	23,63	50,92	117,46	21,65
05:08:18 p.m.	80,79	408,42	215,60	137,26	23,59	51,18	117,40	21,78
05:13:18 p.m.	81,32	410,96	212,31	137,32	23,49	51,34	117,20	21,81
05:18:18 p.m.	82,31	414,73	208,82	137,04	23,77	51,60	117,08	21,90
05:23:18 p.m.	82,91	418,44	208,80	139,38	24,01	51,84	117,02	21,51
05:28:18 p.m.	83,53	421,68	208,86	141,85	24,18	52,11	116,62	21,56
05:33:18 p.m.	84,15	424,52	207,82	144,47	24,37	52,42	116,59	22,19
05:38:18 p.m.	84,62	427,20	207,93	147,25	24,52	52,75	116,52	21,61
05:43:18 p.m.	85,08	429,88	207,01	150,45	24,51	53,02	116,18	21,49
05:48:18 p.m.	85,55	432,14	207,46	153,35	24,36	53,24	115,75	21,52
05:53:18 p.m.	86,04	435,03	207,18	158,76	24,20	53,35	115,70	21,37
05:58:18 p.m.	86,67	438,27	205,68	159,97	24,34	53,65	115,72	21,35
06:03:18 p.m.	87,32	441,49	204,27	161,76	24,49	53,73	115,19	21,12
06:08:18 p.m.	87,86	444,51	204,67	163,24	24,54	53,80	114,62	21,25
06:13:18 p.m.	88,29	447,49	205,43	166,76	24,35	53,98	114,41	21,24
06:18:18 p.m.	88,95	450,92	204,07	167,89	24,32	54,18	114,45	21,33
06:23:18 p.m.	89,75	454,50	203,36	168,29	24,49	54,49	114,41	21,06
06:28:18 p.m.	90,40	457,99	202,68	169,76	24,49	54,78	114,34	21,11
06:33:18 p.m.	90,99	461,57	202,45	171,03	24,52	55,00	114,26	20,91
06:38:18 p.m.	91,62	465,14	202,29	173,21	24,52	55,13	113,93	21,41
06:43:18 p.m.	92,45	468,89	201,81	176,61	24,52	55,41	113,53	20,99
06:48:18 p.m.	93,05	472,87	200,47	177,16	24,56	55,54	113,12	20,92
06:53:18 p.m.	93,73	477,15	200,36	178,25	24,59	55,57	112,78	20,93
06:58:18 p.m.	94,38	481,03	201,09	181,26	24,57	55,74	112,52	21,00
07:03:18 p.m.	95,03	485,10	200,51	181,56	24,51	55,93	112,02	20,98

07:08:18 p.m.	95,85	489,52	198,81	183,17	24,60	56,06	111,84	20,91
07:13:18 p.m.	96,66	493,35	198,11	186,01	24,63	56,23	111,84	20,89
07:18:18 p.m.	97,50	496,97	198,08	188,55	24,76	56,47	111,87	20,79
07:23:18 p.m.	98,38	500,36	198,74	191,18	24,75	56,62	111,44	20,77
07:28:18 p.m.	99,14	504,72	197,35	192,70	24,70	56,78	111,07	20,82
07:33:18 p.m.	100,07	509,14	195,82	193,76	24,57	56,85	110,94	21,00
07:38:18 p.m.	101,07	512,87	198,22	198,89	24,48	57,11	110,82	21,00
07:43:18 p.m.	102,09	516,95	195,41	197,09	24,60	57,36	110,86	21,16
07:48:18 p.m.	103,07	520,52	197,52	197,61	24,54	57,42	110,45	20,93
07:53:18 p.m.	104,30	523,62	196,16	199,89	24,51	57,56	110,36	20,82
07:58:18 p.m.	105,34	529,38	194,44	199,24	24,58	57,71	110,19	20,67
08:03:18 p.m.	106,41	534,54	193,96	200,01	24,69	57,86	110,02	20,62
08:08:18 p.m.	107,66	539,02	194,54	200,37	24,87	58,02	109,69	20,62
08:13:18 p.m.	108,87	544,50	194,40	203,84	24,82	58,08	109,11	20,64
08:18:18 p.m.	110,34	550,37	195,23	210,17	24,69	58,19	108,64	20,69
08:23:18 p.m.	111,76	557,61	192,75	209,70	24,55	58,32	108,23	20,80
08:28:18 p.m.	113,06	562,33	195,87	219,54	24,50	58,47	107,79	20,76
08:33:18 p.m.	114,81	565,92	194,88	220,50	24,20	58,57	107,43	20,60
08:38:18 p.m.	116,37	569,59	192,79	231,97	24,07	58,58	106,61	20,29
08:43:18 p.m.	118,06	574,48	191,56	234,33	23,82	58,49	105,38	19,99
08:48:18 p.m.	120,30	581,10	190,50	232,57	23,68	58,64	104,98	20,03
08:53:18 p.m.	122,54	587,29	189,28	234,07	23,71	58,74	104,19	19,77
08:58:18 p.m.	124,46	592,35	190,83	238,72	23,60	58,81	103,48	19,65
09:03:18 p.m.	126,90	596,88	189,78	238,66	23,49	58,87	103,05	19,61
09:08:18 p.m.	129,12	601,63	189,21	239,93	23,35	58,97	102,69	19,43
09:13:19 p.m.	131,74	606,94	189,67	235,80	23,39	59,11	102,39	19,45
09:18:19 p.m.	134,55	611,59	187,99	234,06	23,40	59,18	102,09	19,11
09:23:19 p.m.	137,70	616,47	186,68	236,46	23,44	59,33	101,89	19,02
09:28:19 p.m.	140,40	620,88	187,41	240,10	23,36	59,45	101,56	18,95
09:33:19 p.m.	143,60	625,72	185,70	244,45	23,36	59,56	101,23	18,93
09:38:19 p.m.	146,76	630,66	186,61	249,22	23,37	59,72	100,87	18,79
09:43:19 p.m.	150,43	636,92	184,57	249,93	23,42	59,93	100,67	18,82
09:48:19 p.m.	154,16	642,97	184,79	253,15	23,55	60,08	100,40	18,78
09:53:19 p.m.	158,02	648,74	183,32	256,56	23,56	60,21	100,05	18,86
09:58:19 p.m.	161,97	654,02	183,51	258,92	23,47	60,28	99,57	18,75
10:03:19 p.m.	166,51	660,30	182,88	261,40	23,54	60,51	99,55	18,74
10:08:19 p.m.	170,96	666,32	182,63	265,14	23,63	60,70	99,30	18,83
10:13:19 p.m.	175,51	672,11	182,01	268,65	23,68	60,85	98,90	18,67
10:18:19 p.m.	179,35	676,72	182,39	281,07	23,52	60,98	98,61	18,60
10:23:19 p.m.	185,45	682,97	179,32	280,09	23,37	61,13	98,64	18,69
10:28:19 p.m.	190,62	689,63	179,47	284,69	23,37	61,28	98,41	18,57

10:33:19 p.m.	196,29	695,11	179,20	288,67	23,44	61,37	98,00	18,54
10:38:19 p.m.	202,22	702,24	178,21	293,45	23,69	61,51	97,69	18,62
10:43:19 p.m.	208,31	711,77	176,83	290,55	23,82	61,69	97,73	18,81
10:48:19 p.m.	213,73	719,10	177,90	292,43	23,85	61,87	97,70	18,88
10:53:19 p.m.	219,99	724,61	177,06	288,60	24,02	62,01	97,67	18,83
10:58:19 p.m.	226,04	730,31	176,82	289,70	24,11	62,18	97,67	18,84
11:03:19 p.m.	232,12	737,00	176,08	289,25	24,21	62,26	97,51	18,86
11:08:19 p.m.	238,43	741,45	175,04	288,00	24,47	62,44	97,40	18,97
11:13:19 p.m.	244,67	746,84	174,74	292,20	24,45	62,46	97,17	18,73
11:18:19 p.m.	251,31	753,07	173,66	289,95	24,55	62,58	96,88	18,71
11:23:19 p.m.	258,02	759,04	173,45	297,01	24,73	62,72	96,58	18,55
11:28:19 p.m.	264,85	764,35	172,71	298,09	24,74	62,78	96,02	18,65
11:33:19 p.m.	272,04	769,76	172,35	301,74	24,74	62,89	95,29	18,54
11:38:19 p.m.	279,07	775,34	171,64	299,63	24,79	63,10	95,07	18,45
11:43:19 p.m.	285,67	780,32	171,52	297,14	24,90	63,38	94,87	18,48
11:48:19 p.m.	292,13	784,41	171,28	301,32	25,00	63,63	94,42	18,49
11:53:19 p.m.	298,66	789,07	169,88	302,80	25,02	63,94	94,04	18,39
11:58:19 p.m.	305,34	796,59	169,64	302,73	25,25	64,38	93,84	18,33
12:03:19 a.m.	311,58	801,79	169,63	301,03	25,36	64,77	93,67	18,47
12:08:19 a.m.	317,51	806,20	169,35	302,89	25,47	65,24	93,60	18,34
12:13:19 a.m.	322,94	812,09	169,00	303,56	25,58	65,71	93,18	18,45
12:18:19 a.m.	327,80	817,67	168,10	305,30	25,67	66,22	92,92	18,47
12:23:19 a.m.	332,48	821,58	168,73	307,65	25,82	66,78	92,63	18,52
12:28:19 a.m.	337,33	826,23	167,35	309,55	26,06	67,43	92,48	18,51
12:33:19 a.m.	341,92	832,06	166,60	313,13	26,34	68,15	92,21	18,48
12:38:19 a.m.	345,89	837,43	165,81	313,99	26,45	68,72	91,65	18,13
12:43:19 a.m.	349,87	841,85	166,65	312,34	26,71	69,54	91,59	18,27
12:48:19 a.m.	354,06	846,91	165,43	313,33	26,93	70,38	91,60	18,37
12:53:19 a.m.	357,75	850,69	165,09	314,91	27,08	71,16	91,24	18,26
12:58:19 a.m.	360,91	857,84	165,71	318,29	27,27	71,49	90,75	18,31
01:03:19 a.m.	364,41	863,29	165,03	321,79	27,47	72,40	90,54	18,25
01:08:19 a.m.	367,84	869,15	163,79	324,06	27,58	73,47	90,13	18,31
01:13:19 a.m.	371,51	872,19	164,55	325,14	27,81	74,74	89,87	18,15
01:18:19 a.m.	375,05	876,25	163,72	325,56	27,93	76,18	89,56	18,27
01:23:19 a.m.	378,90	878,93	163,31	326,72	27,95	77,61	89,33	18,13
01:28:19 a.m.	382,91	882,52	162,46	330,24	28,16	79,12	89,05	18,02
01:33:19 a.m.	387,03	887,31	162,54	327,77	28,31	80,67	88,92	18,11
01:38:19 a.m.	391,30	891,48	162,42	327,17	28,52	82,14	88,82	18,13
01:43:19 a.m.	395,86	898,30	162,36	327,31	28,93	83,72	88,80	18,13
01:48:19 a.m.	400,80	902,81	162,60	329,77	29,32	85,24	88,67	18,17
01:53:19 a.m.	405,23	910,69	161,66	325,75	29,80	86,68	88,58	18,36

01:58:19 a.m.	409,80	910,98	161,09	325,50	30,14	87,71	88,38	18,36
02:03:19 a.m.	414,47	912,17	161,44	323,79	30,50	88,68	88,06	18,35
02:08:19 a.m.	418,81	913,47	161,99	326,13	31,12	90,08	87,97	18,03
02:13:19 a.m.	423,50	914,78	161,84	327,60	31,84	91,46	87,86	18,31
02:18:19 a.m.	428,29	913,38	162,08	327,54	32,61	93,09	87,80	18,35
02:23:19 a.m.	432,72	913,23	161,44	323,76	32,82	94,85	87,48	18,19
02:28:19 a.m.	437,49	912,44	161,57	328,95	33,60	97,47	87,41	18,26
02:33:19 a.m.	442,61	915,13	161,34	326,87	34,27	100,55	87,39	18,33
02:38:19 a.m.	447,48	915,68	161,31	329,37	34,72	103,69	87,25	18,22
02:43:19 a.m.	452,80	912,47	161,46	329,22	35,26	106,24	87,07	18,31
02:48:19 a.m.	458,38	909,48	159,70	337,57	35,44	108,99	86,89	18,27
02:53:19 a.m.	462,94	906,95	159,25	334,18	35,73	112,49	86,67	18,26
02:58:19 a.m.	467,34	904,86	164,60	328,32	35,87	116,13	86,40	18,32
03:03:19 a.m.	472,65	903,55	168,00	333,38	36,11	119,47	86,18	18,31
03:08:19 a.m.	477,47	902,01	176,92	330,44	36,18	122,59	85,87	18,36
03:13:19 a.m.	482,18	900,32	189,58	333,05	36,33	125,48	85,63	18,17
03:18:19 a.m.	486,82	899,43	198,60	330,52	36,49	128,58	85,45	18,22
03:23:19 a.m.	491,57	898,28	226,97	330,30	36,70	131,52	85,33	18,27
03:28:19 a.m.	496,93	897,57	239,92	339,64	36,67	134,74	85,37	18,19
03:33:19 a.m.	501,91	898,20	256,09	333,30	37,00	138,04	85,85	18,16
03:38:19 a.m.	506,37	899,90	284,99	331,72	37,69	141,26	86,47	18,20
03:43:19 a.m.	511,03	901,76	318,02	329,16	37,99	144,50	87,29	18,25
03:48:19 a.m.	516,26	906,82	342,46	336,99	38,15	147,44	88,32	18,21
03:53:19 a.m.	521,89	908,00	347,41	332,70	38,56	150,07	89,49	18,30
03:58:19 a.m.	527,97	908,39	348,21	334,81	38,88	152,64	90,85	18,30
04:03:19 a.m.	534,35	909,31	343,18	345,27	39,24	154,98	92,30	18,10
04:08:19 a.m.	540,44	910,62	344,65	341,89	39,66	157,23	94,15	18,19
04:13:19 a.m.	545,77	912,17	346,18	341,57	39,84	159,15	96,17	18,28
04:18:19 a.m.	551,52	912,15	346,77	341,43	40,16	160,71	98,18	18,13
04:23:19 a.m.	558,72	912,41	341,57	347,13	40,39	162,32	100,28	18,11
04:28:19 a.m.	565,31	913,77	341,29	351,80	40,81	163,77	102,46	18,01
04:33:19 a.m.	573,23	914,71	337,28	362,27	40,91	165,05	104,47	17,98
04:38:19 a.m.	579,51	917,86	344,70	354,01	41,18	165,81	106,50	18,17
04:43:19 a.m.	584,24	919,97	345,95	358,44	41,54	166,81	108,49	18,00
04:48:19 a.m.	588,89	923,40	345,11	361,26	42,37	168,01	110,61	18,12
04:53:19 a.m.	596,34	924,09	356,32	364,14	43,01	169,08	112,59	18,06
04:58:19 a.m.	605,52	924,89	358,51	367,56	43,40	170,08	114,53	18,12
05:03:19 a.m.	615,65	923,44	348,97	372,11	43,45	170,98	116,25	17,99
05:08:19 a.m.	625,93	923,14	347,33	376,30	43,17	171,79	118,02	17,90
05:13:19 a.m.	634,98	923,39	350,53	374,33	43,16	172,55	119,75	18,06
05:18:19 a.m.	639,58	925,10	357,70	372,22	43,74	173,36	121,58	18,09

05:23:19 a.m.	648,00	926,27	359,89	374,12	43,92	173,98	123,26	18,11
05:28:19 a.m.	654,57	927,84	365,50	372,39	43,89	174,53	124,93	18,12
05:33:19 a.m.	668,71	928,51	360,97	380,40	42,68	174,88	126,26	18,03
05:38:19 a.m.	674,00	931,72	365,32	381,68	42,90	175,26	127,93	18,02
05:43:19 a.m.	677,72	933,92	373,24	378,43	43,85	175,69	129,67	18,45
05:48:19 a.m.	674,99	935,59	375,50	377,84	44,52	176,31	131,29	18,11
05:53:19 a.m.	674,59	937,59	379,05	379,37	45,21	176,62	132,80	18,05
05:58:19 a.m.	677,81	939,17	381,85	387,12	45,45	177,00	134,44	18,26
06:03:19 a.m.	681,72	946,97	387,66	389,83	45,39	177,42	136,07	18,44
06:08:19 a.m.	686,47	951,04	400,36	389,00	45,61	177,97	137,75	18,43
06:13:19 a.m.	693,59	949,86	408,15	392,09	45,70	178,57	139,22	18,48
06:18:19 a.m.	703,93	951,66	412,04	390,71	46,15	179,54	140,67	18,44
06:23:19 a.m.	708,57	952,94	417,72	381,85	46,42	180,43	142,13	18,65
06:28:19 a.m.	712,15	954,88	424,81	380,69	47,30	181,15	143,35	18,42
06:33:19 a.m.	717,54	957,82	422,59	383,26	47,87	182,46	144,61	18,63
06:38:19 a.m.	723,57	962,41	420,66	381,68	48,38	183,73	145,73	18,25
06:43:19 a.m.	730,83	964,58	422,98	384,80	49,00	185,07	147,12	18,65
06:48:19 a.m.	739,04	970,08	425,15	383,97	48,57	186,21	148,49	18,44
06:53:19 a.m.	747,73	971,82	430,35	387,34	48,73	186,95	149,48	18,90
06:58:19 a.m.	756,06	969,21	433,51	388,60	48,85	187,97	150,73	18,80
07:03:19 a.m.	763,50	968,16	440,75	391,89	49,80	188,98	152,09	18,89
07:08:19 a.m.	770,78	968,48	442,97	394,39	49,97	190,02	153,51	18,77
07:13:19 a.m.	778,67	966,22	441,67	398,81	49,93	191,02	154,64	18,72
07:18:19 a.m.	783,22	969,53	444,58	398,86	49,77	191,85	155,85	19,07
07:23:19 a.m.	787,47	967,84	447,79	407,47	50,86	192,87	157,01	18,93
07:28:19 a.m.	792,56	968,05	450,99	416,92	52,32	194,24	158,60	19,31
07:33:19 a.m.	798,47	968,39	452,95	424,49	53,98	195,99	160,36	19,31
07:38:19 a.m.	802,57	968,36	453,87	429,12	55,61	197,41	161,83	19,15
07:43:19 a.m.	805,88	968,71	454,71	434,86	57,40	198,54	163,29	19,49
07:48:19 a.m.	810,74	970,82	456,72	439,17	59,58	199,51	164,47	19,52
07:53:19 a.m.	814,83	972,82	457,36	432,95	62,01	200,02	165,40	19,31
07:58:19 a.m.	819,70	972,81	455,35	439,46	63,47	200,43	165,98	19,54
08:03:19 a.m.	823,68	971,97	453,93	447,85	65,70	200,83	166,83	19,50
08:08:19 a.m.	829,67	973,40	452,80	453,71	70,31	201,34	167,96	19,34
08:13:19 a.m.	836,32	981,01	450,85	452,57	78,52	201,73	168,46	19,50
08:18:19 a.m.	837,30	981,44	468,15	457,86	84,53	201,85	168,92	19,54
08:23:19 a.m.	841,02	982,78	455,11	457,95	93,28	202,07	169,60	19,89
08:28:19 a.m.	844,50	984,46	452,68	460,10	104,99	202,16	170,39	20,39
08:33:19 a.m.	848,18	986,54	449,90	462,34	120,50	202,33	171,31	20,14
08:38:19 a.m.	850,74	986,16	448,64	468,64	138,56	202,37	171,54	20,08
08:43:19 a.m.	853,27	985,41	444,24	474,87	154,43	202,41	171,89	19,92

08:48:19 a.m.	857,26	985,34	442,55	478,86	170,20	202,47	172,28	20,30
08:53:19 a.m.	861,70	985,31	440,25	481,03	184,92	202,47	172,83	21,23
08:58:20 a.m.	863,98	985,90	438,46	488,23	197,41	202,39	173,21	21,73
09:03:20 a.m.	866,20	985,93	435,79	483,33	208,58	202,23	173,36	22,07
09:08:20 a.m.	867,63	985,65	434,29	489,61	217,54	201,75	173,17	21,94
09:13:20 a.m.	869,96	984,18	435,68	488,61	224,36	201,26	173,11	22,33
09:18:20 a.m.	871,73	982,89	432,21	494,54	227,12	200,53	172,95	22,50
09:23:20 a.m.	873,65	981,75	432,51	496,08	231,53	200,09	172,81	23,02
09:28:20 a.m.	874,73	982,41	430,18	496,41	232,67	199,89	172,89	23,41
09:33:20 a.m.	876,16	982,36	425,56	499,69	231,44	199,76	172,87	23,11
09:38:20 a.m.	878,81	982,41	424,17	507,32	230,17	199,89	173,04	23,51
09:43:20 a.m.	879,70	982,65	416,95	521,05	227,84	200,11	173,30	23,32
09:48:20 a.m.	881,50	982,90	413,85	528,01	225,26	200,22	173,29	23,34
09:53:20 a.m.	885,80	983,08	420,05	531,26	227,30	200,20	172,64	23,09
09:58:20 a.m.	890,17	983,14	422,80	532,70	230,15	200,30	172,16	23,29
10:03:20 a.m.	891,72	983,19	423,06	537,64	230,66	200,36	171,85	23,33
10:08:20 a.m.	893,40	983,96	413,48	548,26	230,06	200,48	171,31	23,37
10:13:20 a.m.	895,81	985,43	407,13	551,93	230,65	200,54	171,38	23,98
10:18:20 a.m.	900,07	984,72	410,35	556,69	241,84	200,62	171,50	24,25
10:23:20 a.m.	903,75	984,59	408,05	555,75	254,19	200,76	171,60	24,94
10:28:20 a.m.	906,23	984,77	405,86	554,93	263,00	200,95	171,83	24,97
10:33:20 a.m.	909,50	984,93	401,54	556,36	268,24	200,93	171,62	24,89
10:38:20 a.m.	916,82	984,28	406,47	559,40	273,46	200,86	171,32	24,98
10:43:20 a.m.	919,85	983,81	405,79	562,71	276,20	200,84	171,16	26,10
10:48:20 a.m.	931,49	983,48	405,35	561,19	272,06	200,74	170,32	24,94
10:53:20 a.m.	922,92	983,23	398,25	563,48	267,66	200,35	169,15	24,93
10:58:20 a.m.	925,79	982,72	400,77	564,15	266,49	200,24	168,90	25,09
11:03:20 a.m.	930,35	982,19	401,23	565,37	265,86	200,16	168,75	25,42
11:08:20 a.m.	928,98	981,60	398,98	567,43	261,90	199,95	167,86	25,85
11:13:20 a.m.	932,46	981,01	397,43	568,93	256,97	199,72	167,26	25,71
11:18:20 a.m.	936,73	980,80	399,33	570,11	256,84	199,55	166,68	26,49
11:23:20 a.m.	937,80	980,40	399,52	571,85	254,59	199,27	166,01	27,01
11:28:20 a.m.	945,88	979,83	400,19	574,27	255,77	199,24	165,92	26,92
11:33:20 a.m.	937,65	978,41	393,62	575,08	246,86	198,85	164,74	26,37
11:38:20 a.m.	947,24	977,58	401,28	577,51	249,08	198,92	164,55	27,64
11:43:20 a.m.	950,37	976,94	404,00	579,58	250,25	198,90	164,40	27,15
11:48:20 a.m.	950,74	976,02	401,21	580,91	251,36	199,08	164,30	28,37
11:53:20 a.m.	953,77	974,33	399,94	582,29	250,26	199,50	164,28	28,05
11:58:20 a.m.	955,81	972,67	398,35	583,59	248,50	199,71	163,65	28,88
12:03:20 p.m.	951,74	970,31	399,53	583,96	242,97	200,16	163,39	27,46
12:08:20 p.m.	949,81	968,52	408,22	584,95	238,52	200,67	163,05	27,85

12:13:20 p.m.	953,44	966,99	418,10	586,32	234,72	201,32	162,97	27,13
12:18:20 p.m.	955,65	965,79	426,85	588,15	232,44	201,90	162,58	28,36
12:23:20 p.m.	962,07	964,77	432,46	589,20	230,81	202,40	162,10	27,32
12:28:20 p.m.	967,82	964,09	433,45	589,40	230,17	203,11	161,98	28,10
12:33:20 p.m.	971,07	962,88	431,75	589,92	227,91	203,89	162,02	26,59
12:38:20 p.m.	975,42	961,09	431,39	589,87	217,89	204,42	161,47	26,58
12:43:20 p.m.	978,98	959,09	433,19	590,15	210,31	204,78	160,49	26,74
12:48:20 p.m.	980,86	956,72	434,15	589,72	205,71	205,22	160,06	27,49
12:53:20 p.m.	983,74	955,26	433,34	589,54	203,02	205,68	159,96	26,91
12:58:20 p.m.	984,58	952,53	431,68	589,60	200,54	206,09	159,82	27,45
01:03:20 p.m.	982,14	948,90	428,70	590,55	197,14	206,47	159,80	27,57
01:08:20 p.m.	986,53	945,02	430,02	589,96	195,13	206,69	159,65	27,37
01:13:20 p.m.	990,22	941,43	435,68	590,11	192,31	207,14	159,64	28,51
01:18:20 p.m.	994,35	937,62	437,69	590,13	189,16	207,75	159,83	29,40
01:23:20 p.m.	1001,69	933,52	436,55	589,27	186,63	208,48	160,42	28,84
01:28:20 p.m.	999,92	929,16	433,33	591,14	182,89	209,06	160,72	29,15
01:33:20 p.m.	999,29	924,72	431,84	590,01	181,75	209,41	160,36	29,97
01:38:20 p.m.	1000,88	920,18	430,55	589,23	180,57	209,83	160,64	28,86
01:43:20 p.m.	1000,49	915,51	429,31	589,51	178,23	210,18	160,70	30,96
01:48:20 p.m.	1002,20	911,48	429,23	589,92	176,72	210,60	160,37	29,40
01:53:20 p.m.	1001,28	907,50	425,94	590,47	173,68	211,33	160,41	30,92
01:58:20 p.m.	1005,51	903,07	425,38	588,86	172,01	212,03	160,20	28,78
02:03:20 p.m.	1001,79	898,73	421,70	590,09	167,92	212,65	159,76	28,12
02:08:20 p.m.	1001,44	894,15	420,82	588,35	166,33	213,35	159,79	28,46
02:13:20 p.m.	1004,31	889,75	418,89	589,44	165,10	214,07	160,03	27,52
02:18:20 p.m.	1005,65	885,08	416,55	590,13	163,48	214,57	159,30	29,91
02:23:20 p.m.	1008,27	880,45	415,02	591,29	161,68	215,00	159,13	32,75
02:28:20 p.m.	1010,76	875,64	413,13	591,61	159,50	215,45	158,76	31,76
02:33:20 p.m.	1011,76	870,95	410,17	591,89	157,25	215,77	158,27	32,44
02:38:20 p.m.	1014,18	865,97	407,06	591,91	154,82	215,97	157,55	28,55
02:43:20 p.m.	1015,32	861,07	406,29	591,28	153,19	216,13	156,77	28,58
02:48:20 p.m.	1017,12	856,10	403,85	591,23	151,58	216,41	156,24	28,22
02:53:20 p.m.	1019,96	851,84	401,61	592,04	151,00	216,70	155,86	27,52
02:58:20 p.m.	1020,61	847,58	397,62	593,90	149,94	216,88	155,10	27,23
03:03:20 p.m.	1021,64	843,23	395,51	594,64	147,21	216,91	154,24	29,21
03:08:20 p.m.	1022,36	838,78	392,86	595,97	144,58	217,05	153,62	28,26
03:13:20 p.m.	1026,44	834,50	390,37	598,05	140,90	217,11	152,91	28,50
03:18:20 p.m.	1030,45	830,42	390,70	599,88	145,36	217,15	151,37	27,97
03:23:20 p.m.	1030,53	826,84	387,68	600,25	150,65	217,23	150,52	27,43
03:28:20 p.m.	1030,28	823,20	384,51	600,18	154,47	217,22	149,76	27,46
03:33:20 p.m.	1032,16	819,82	381,64	600,36	153,50	217,39	149,40	27,49

03:38:20 p.m.	1031,01	816,40	378,32	599,53	150,07	217,40	149,42	23,00
03:43:20 p.m.	1034,53	813,59	374,40	600,32	141,34	215,71	147,67	22,56
03:48:20 p.m.	1033,97	810,12	370,81	601,50	115,06	204,01	146,27	21,81
03:53:20 p.m.	1015,18	803,51	364,68	604,43	104,20	95,08	144,53	23,12
03:58:20 p.m.	1002,59	798,14	360,18	606,73	103,89	94,63	144,49	23,08
04:03:20 p.m.	993,92	795,38	356,50	608,11	101,85	92,77	143,82	22,01
04:08:20 p.m.	996,26	793,22	354,51	608,89	103,19	91,59	144,68	23,12
06:37:30 p.m.	989,39	681,54	295,75	616,86	72,19	80,79	128,38	21,69
06:42:30 p.m.	986,70	678,34	291,91	615,69	71,43	81,30	127,89	21,03
06:47:30 p.m.	983,83	675,06	289,12	615,34	70,42	81,73	127,33	21,10
06:52:30 p.m.	981,37	671,93	287,13	615,10	68,94	82,22	126,70	21,18
06:57:30 p.m.	977,33	668,57	283,86	612,81	67,80	82,51	125,96	20,98
07:02:30 p.m.	973,91	665,38	281,65	612,06	66,86	82,97	125,42	20,76
07:07:30 p.m.	971,30	662,17	279,61	610,96	65,15	83,38	124,74	20,96
07:12:30 p.m.	968,70	658,95	277,34	610,78	64,23	83,77	124,06	20,85
07:17:30 p.m.	966,25	655,80	275,21	610,98	63,09	84,07	122,95	20,89
07:22:30 p.m.	963,69	652,69	273,43	612,72	61,88	84,46	122,21	20,66
07:27:30 p.m.	961,42	649,66	271,37	612,07	61,03	84,84	121,53	20,61
07:32:30 p.m.	959,28	646,64	269,49	617,93	60,10	85,14	120,66	20,56
07:37:30 p.m.	956,77	643,58	267,07	627,35	59,08	85,34	119,53	20,47
07:42:30 p.m.	954,24	640,70	264,85	625,94	57,92	85,70	118,86	20,48
07:47:30 p.m.	951,93	637,73	263,19	619,02	57,41	85,94	118,22	20,38
07:52:30 p.m.	949,10	634,89	261,51	613,72	56,45	86,15	117,33	20,49
07:57:30 p.m.	946,16	632,12	259,29	612,90	54,95	86,42	116,72	20,59
08:02:30 p.m.	942,32	629,22	257,77	611,56	54,34	86,54	116,15	20,33
08:07:30 p.m.	938,74	626,46	256,00	614,11	53,46	86,70	115,46	20,10
08:12:30 p.m.	935,30	623,69	254,02	613,86	52,64	86,81	114,79	20,09
08:17:30 p.m.	931,76	620,96	251,81	612,26	52,19	86,93	114,05	20,29
08:22:30 p.m.	928,87	618,36	250,50	611,07	51,41	87,01	113,29	20,23
08:27:30 p.m.	925,75	615,67	250,27	608,73	51,03	87,44	112,71	19,91
08:32:30 p.m.	922,62	613,03	249,16	607,33	50,34	87,91	111,98	19,81
08:37:30 p.m.	919,76	610,53	245,70	605,56	49,73	88,58	111,47	19,44
08:42:30 p.m.	917,47	607,84	244,38	604,97	49,58	89,04	110,76	19,59
08:47:30 p.m.	914,44	605,62	239,93	603,00	48,22	89,67	109,95	19,52
08:52:30 p.m.	912,07	602,81	240,55	597,44	48,34	90,65	109,51	19,23
08:57:30 p.m.	909,08	600,35	239,52	594,86	48,41	91,48	108,83	19,61
09:02:30 p.m.	906,66	597,95	238,62	593,52	48,11	92,49	108,27	19,64
09:07:30 p.m.	903,95	595,56	234,49	593,78	46,96	93,50	107,54	19,39
09:12:30 p.m.	901,01	593,04	234,03	592,66	47,22	94,38	106,99	19,61
09:17:30 p.m.	898,66	590,86	232,04	589,61	46,43	95,42	106,40	19,43
09:22:31 p.m.	895,22	588,32	232,51	587,06	46,49	96,29	105,82	19,34

09:27:31 p.m.	892,14	585,97	229,49	583,04	46,13	97,17	105,21	19,20
09:32:31 p.m.	888,67	583,62	228,21	581,04	46,42	97,99	104,74	19,29
09:37:31 p.m.	883,76	581,14	226,53	578,30	45,98	98,76	104,15	19,39
09:42:31 p.m.	880,03	578,77	226,76	575,02	45,42	99,45	103,24	19,48
09:47:31 p.m.	877,14	576,40	226,38	572,22	45,31	100,47	102,81	19,06
09:52:31 p.m.	873,12	574,11	224,50	569,52	44,49	101,33	102,28	19,22
09:57:31 p.m.	869,80	571,99	221,07	566,92	43,89	102,36	101,69	19,06
10:02:31 p.m.	866,22	569,63	220,41	563,79	43,48	103,21	101,10	19,15
10:07:31 p.m.	863,03	567,38	219,54	560,94	42,89	104,25	100,68	19,13
10:12:31 p.m.	859,16	565,15	214,86	557,85	42,19	105,16	99,99	18,90
10:17:31 p.m.	855,87	562,68	210,69	554,55	42,48	105,95	99,45	18,94
10:22:31 p.m.	852,07	560,39	208,82	551,95	42,16	106,84	98,84	18,75
10:27:31 p.m.	848,55	557,99	207,65	549,40	41,86	107,79	98,36	18,75
10:32:31 p.m.	845,16	555,68	207,28	546,29	42,02	108,80	98,02	18,52
10:37:31 p.m.	842,06	553,39	205,14	543,15	41,86	109,63	97,51	18,72
10:42:31 p.m.	838,09	551,01	203,38	540,33	41,67	110,36	96,98	18,85
10:47:31 p.m.	834,08	548,59	201,87	537,89	41,86	111,08	96,53	18,74
10:52:31 p.m.	829,97	546,35	201,93	535,08	40,15	111,80	95,68	18,52
10:57:31 p.m.	825,63	543,95	201,00	532,12	39,87	112,45	95,28	18,38
11:02:31 p.m.	821,67	541,57	201,00	529,65	39,94	113,09	94,85	18,26
11:07:31 p.m.	817,71	539,31	198,21	526,88	39,50	113,72	94,46	18,57
11:12:31 p.m.	813,50	536,95	198,60	523,96	39,62	114,28	94,01	18,24
11:17:31 p.m.	808,79	534,70	196,46	521,59	39,46	114,78	93,59	18,11
11:22:31 p.m.	803,82	532,33	197,20	518,58	39,03	115,22	93,09	18,19
11:27:31 p.m.	799,18	529,82	196,39	516,71	39,12	115,65	92,74	18,26
11:32:31 p.m.	794,66	527,29	194,88	514,58	38,56	116,12	92,28	18,45
11:37:31 p.m.	790,41	524,95	193,94	513,07	38,18	116,67	91,83	18,20
11:42:31 p.m.	786,44	522,64	192,82	510,67	38,23	117,04	91,40	18,25
11:47:31 p.m.	781,96	520,39	190,69	508,53	37,65	117,48	90,79	18,13
11:52:31 p.m.	777,79	518,09	189,70	505,80	37,78	117,86	90,49	17,99
11:57:31 p.m.	773,57	515,72	187,82	503,43	36,93	118,06	89,93	18,30
12:02:31 a.m.	769,75	513,45	186,56	500,96	36,68	118,38	89,43	17,93
12:07:31 a.m.	765,95	511,24	185,72	499,14	36,40	118,63	89,01	17,59
12:12:31 a.m.	762,17	508,91	184,57	496,94	35,93	118,95	88,56	17,73
12:17:31 a.m.	758,46	506,76	183,80	494,87	35,60	119,26	88,03	17,57
12:22:31 a.m.	754,72	504,46	182,41	492,72	35,24	119,44	87,64	17,66
12:27:31 a.m.	751,29	502,31	181,36	490,79	35,15	119,68	87,26	17,92
12:32:31 a.m.	747,67	500,00	179,99	488,87	35,03	119,81	86,78	17,63
12:37:31 a.m.	743,84	497,76	179,65	486,58	34,76	119,92	86,37	17,88
12:42:31 a.m.	740,09	495,68	178,12	484,53	34,25	120,05	85,81	17,63
12:47:31 a.m.	736,45	493,40	178,38	482,90	34,68	120,31	85,55	17,30

12:52:31 a.m.	732,80	491,26	175,90	481,13	33,97	120,48	85,23	17,55
12:57:31 a.m.	729,24	489,04	175,19	479,00	33,49	120,56	84,74	17,38
01:02:31 a.m.	725,82	486,88	175,01	477,57	33,68	120,64	84,47	17,35
01:07:31 a.m.	722,24	484,77	173,90	476,13	33,31	120,85	84,17	17,33
01:12:31 a.m.	718,57	482,61	174,01	474,47	33,26	120,91	83,75	17,40
01:17:31 a.m.	714,79	480,47	171,97	472,58	33,11	120,92	83,37	17,27
01:22:31 a.m.	710,81	478,34	171,24	470,80	32,35	120,88	82,90	17,19
01:27:31 a.m.	707,31	476,14	170,65	469,63	32,98	121,06	82,81	17,15
01:32:31 a.m.	704,15	474,00	169,85	467,56	32,35	120,91	82,20	17,24
01:37:31 a.m.	700,75	471,72	170,89	465,81	32,30	120,92	81,94	17,11
01:42:31 a.m.	697,23	469,69	172,04	464,37	31,93	120,90	81,48	16,84
01:47:31 a.m.	693,65	467,52	170,40	462,37	31,78	120,96	81,22	17,21
01:52:31 a.m.	690,06	465,61	166,52	460,90	31,11	120,93	80,64	17,07
01:57:31 a.m.	686,38	463,40	166,41	459,32	30,78	120,84	80,24	17,08
02:02:31 a.m.	682,72	461,20	163,77	457,48	30,26	120,68	79,99	17,45
02:07:31 a.m.	679,05	459,05	167,52	455,70	30,70	120,56	79,69	16,96
02:12:31 a.m.	675,10	456,98	166,38	454,46	30,62	120,44	79,29	17,02
02:17:31 a.m.	671,06	454,89	166,45	452,91	30,47	120,38	79,03	16,91
02:22:31 a.m.	667,07	452,96	164,50	451,30	30,08	120,26	78,53	17,13
02:27:31 a.m.	662,58	450,82	164,23	449,52	30,18	120,11	78,21	16,88
02:32:31 a.m.	658,46	448,79	161,71	448,28	30,07	120,10	78,02	17,08
02:37:31 a.m.	654,62	446,92	158,55	446,18	29,52	120,04	77,54	17,14
02:42:31 a.m.	650,53	444,57	158,77	444,48	29,42	119,84	77,33	16,79
02:47:31 a.m.	646,76	442,55	158,00	442,80	29,31	119,85	77,05	17,08
02:52:31 a.m.	643,43	440,75	156,04	440,93	29,19	119,82	76,63	17,16
02:57:31 a.m.	639,89	438,47	155,89	439,80	29,11	119,57	76,42	16,75
03:02:31 a.m.	636,61	436,58	152,94	437,71	28,64	119,43	76,10	17,10
03:07:31 a.m.	633,31	434,46	153,22	436,03	28,94	119,31	75,87	16,96
03:12:31 a.m.	630,04	432,47	151,42	434,22	28,48	119,10	75,36	17,13
03:17:31 a.m.	626,58	430,25	153,66	432,37	28,70	118,88	75,20	17,01
03:22:31 a.m.	623,27	428,22	154,26	431,38	28,77	118,69	74,85	16,83
03:27:31 a.m.	620,09	426,16	154,94	429,21	28,42	118,66	74,58	16,87
03:32:31 a.m.	617,05	424,19	152,50	427,92	28,52	118,49	74,21	16,70
03:37:31 a.m.	614,09	422,50	148,31	425,54	27,70	118,08	73,55	17,09
03:42:31 a.m.	610,45	420,26	147,68	423,50	27,61	117,68	73,36	17,20
03:47:31 a.m.	606,54	418,13	149,21	422,61	27,73	117,21	72,95	17,13
03:52:31 a.m.	602,80	416,19	148,28	421,55	27,74	116,84	72,56	16,74
03:57:31 a.m.	598,87	414,38	145,16	419,00	26,91	116,61	72,14	16,81
04:02:31 a.m.	594,04	412,16	143,78	417,24	26,81	116,25	71,80	16,91
04:07:31 a.m.	588,44	410,34	142,20	414,89	26,40	115,85	71,26	16,94
04:12:31 a.m.	582,05	408,52	138,32	412,06	26,00	115,56	70,86	16,93

04:17:31 a.m.	577,05	406,46	138,33	410,22	25,97	115,29	70,56	16,96
04:22:31 a.m.	573,07	404,59	137,36	408,28	25,78	114,95	70,07	16,91
04:27:31 a.m.	569,53	402,79	135,21	406,00	25,36	114,57	69,61	16,98
04:32:31 a.m.	566,08	400,98	133,78	403,13	25,32	114,33	69,34	17,00
04:37:31 a.m.	562,92	399,31	133,77	400,66	25,20	114,18	68,95	17,02
04:42:31 a.m.	559,63	397,44	131,12	398,36	25,04	113,92	68,67	17,14
04:47:31 a.m.	556,33	395,49	129,16	396,31	24,84	113,47	68,25	16,98
04:52:31 a.m.	553,21	393,98	129,09	394,08	24,46	113,01	67,39	16,95
04:57:31 a.m.	550,22	392,17	126,90	391,72	24,29	112,64	67,01	17,04
05:02:31 a.m.	546,95	390,24	125,05	389,81	24,26	112,29	66,85	17,04
05:07:31 a.m.	544,07	388,85	124,61	386,44	23,80	111,87	66,05	16,88
05:12:31 a.m.	540,96	387,00	122,10	385,41	23,67	111,41	65,66	16,97
05:17:31 a.m.	537,80	384,82	122,19	383,38	23,91	111,16	65,64	17,01
05:22:31 a.m.	535,11	383,09	122,59	381,43	23,87	111,01	65,47	16,95
05:27:31 a.m.	532,19	381,72	121,45	378,95	23,62	110,66	64,79	16,90
05:32:31 a.m.	529,20	379,27	122,49	378,70	23,99	110,31	64,85	16,84
05:37:31 a.m.	526,43	377,87	120,00	374,11	23,45	109,85	64,16	16,79
05:42:31 a.m.	523,55	376,12	119,32	373,28	23,47	109,39	63,73	17,12
05:47:31 a.m.	520,70	374,23	118,85	371,51	23,40	109,03	63,52	17,06
05:52:31 a.m.	517,86	372,59	117,02	369,10	23,29	108,73	63,33	16,91
05:57:31 a.m.	514,97	370,81	117,38	367,27	23,20	108,37	63,04	17,05
06:02:31 a.m.	512,29	369,53	117,03	363,95	22,92	107,87	62,42	17,16
06:07:31 a.m.	509,43	367,75	114,16	362,31	22,77	107,41	62,18	17,04
06:12:31 a.m.	506,68	366,22	114,58	360,15	22,77	107,03	61,73	16,85
06:17:31 a.m.	503,88	364,35	113,64	359,05	22,73	106,64	61,41	16,91
06:22:31 a.m.	501,20	362,90	114,99	356,87	22,61	106,40	60,98	17,06
06:27:31 a.m.	498,63	361,45	114,02	354,44	22,38	105,82	60,30	17,03
06:32:31 a.m.	495,92	360,07	112,88	351,10	22,14	105,28	59,76	17,87
06:37:31 a.m.	493,08	358,25	111,83	350,36	22,15	104,91	59,65	17,14
06:42:31 a.m.	490,39	356,61	109,96	348,10	22,29	104,63	59,47	17,24
06:47:31 a.m.	487,67	354,82	112,68	346,84	22,66	104,37	59,45	17,43
06:52:31 a.m.	485,15	353,29	110,47	345,04	22,75	104,15	59,32	17,50
06:57:31 a.m.	482,55	351,77	110,42	343,63	22,81	103,93	59,26	17,50
07:02:31 a.m.	480,05	350,64	110,48	339,64	23,74	103,93	59,00	18,12
07:07:31 a.m.	477,29	348,89	107,35	338,44	24,93	104,11	58,93	17,84
07:12:31 a.m.	474,71	347,00	108,31	338,75	26,26	104,51	59,11	18,36
07:17:31 a.m.	472,17	345,18	109,98	337,47	27,45	104,74	59,29	18,40
07:22:31 a.m.	469,91	344,04	108,35	334,92	27,86	104,93	59,22	18,76
07:27:31 a.m.	467,32	342,30	108,62	334,92	28,91	105,12	59,56	19,07
07:32:31 a.m.	464,91	340,38	110,27	337,88	29,82	105,30	59,71	19,24
07:37:31 a.m.	462,67	338,77	110,22	336,31	30,54	105,50	59,83	19,24

07:42:31 a.m.	460,40	337,06	111,21	335,02	29,55	105,22	59,96	18,87
07:47:31 a.m.	458,23	335,47	113,00	335,17	29,65	104,96	59,96	19,38
07:52:31 a.m.	456,25	334,04	115,49	334,83	31,62	105,21	60,16	20,06
07:57:31 a.m.	454,17	332,28	117,00	330,51	31,36	105,08	60,15	19,90
08:02:31 a.m.	451,96	330,85	115,25	327,94	31,98	104,83	60,17	19,84
08:07:31 a.m.	449,67	329,60	113,62	325,88	31,96	104,89	60,23	20,68
08:12:31 a.m.	447,50	327,94	113,33	323,55	33,07	105,04	60,41	20,86
08:17:31 a.m.	445,31	326,26	114,60	323,83	34,05	105,12	60,64	21,53
08:22:31 a.m.	443,22	325,08	112,71	320,56	34,02	105,20	60,79	21,42
08:27:31 a.m.	440,98	323,64	113,68	320,62	34,95	105,32	61,04	21,99
08:32:31 a.m.	438,84	321,83	116,05	319,40	36,40	105,55	61,40	22,08
08:37:31 a.m.	436,66	320,34	114,72	317,79	36,89	105,82	61,71	21,43
08:42:31 a.m.	434,65	318,78	116,10	316,99	37,74	106,18	61,89	21,79
08:47:31 a.m.	432,69	317,59	112,92	314,61	37,98	106,26	62,06	22,00
08:52:31 a.m.	430,64	316,02	113,06	314,06	38,60	106,23	62,31	21,92
08:57:31 a.m.	428,62	314,54	113,54	312,95	39,13	106,32	62,57	22,34
09:02:31 a.m.	426,69	313,19	113,48	311,40	39,40	106,36	62,59	22,57
09:07:31 a.m.	424,61	311,69	112,93	310,40	39,85	106,28	62,74	23,23
09:12:32 a.m.	422,70	310,29	112,62	309,85	40,24	106,33	62,83	23,34
09:17:32 a.m.	420,68	308,78	114,32	310,06	40,70	106,41	63,24	23,40
09:22:32 a.m.	418,71	307,25	115,14	310,09	40,84	106,47	63,62	23,13
09:27:32 a.m.	416,80	305,97	114,00	308,34	40,13	106,40	63,62	22,90
09:32:32 a.m.	414,78	304,40	113,44	307,02	38,92	105,99	63,62	23,25
09:37:32 a.m.	412,84	302,97	112,98	306,17	40,16	105,81	63,68	24,43
09:42:32 a.m.	410,97	302,03	111,57	304,90	39,40	105,63	63,67	23,95
09:47:32 a.m.	408,94	300,14	112,26	304,17	40,21	105,39	63,80	25,28
09:52:32 a.m.	407,06	298,75	112,71	304,97	40,31	105,32	64,12	25,01
09:57:32 a.m.	405,20	297,40	112,26	303,74	39,48	105,19	64,04	24,06
10:02:32 a.m.	403,34	296,02	112,67	302,74	38,41	104,86	63,59	24,55
10:07:32 a.m.	401,51	294,44	113,40	303,00	39,59	104,53	63,48	24,59
10:12:32 a.m.	399,74	292,95	113,20	301,94	40,48	104,42	63,32	24,75
10:17:32 a.m.	397,86	291,25	117,46	302,87	41,09	104,24	63,19	24,90
10:22:32 a.m.	396,18	290,05	114,57	300,51	41,42	104,13	63,19	25,74
10:27:32 a.m.	394,22	288,51	116,97	301,94	40,99	103,98	63,20	24,91
10:32:32 a.m.	392,51	287,18	115,67	301,03	40,61	103,88	63,06	25,24
10:37:32 a.m.	390,78	285,88	113,75	299,96	40,18	103,72	63,14	26,02
10:42:32 a.m.	388,96	284,40	115,47	301,40	40,01	103,56	63,26	25,35
10:47:32 a.m.	387,30	283,23	113,04	299,46	39,95	103,40	63,29	26,10
10:52:32 a.m.	385,46	281,69	112,76	298,63	39,75	103,12	63,01	26,10
10:57:32 a.m.	383,68	280,51	109,59	296,07	39,04	102,77	62,82	25,63
11:02:32 a.m.	381,94	278,95	111,81	296,10	38,73	102,46	62,50	26,19

11:07:32 a.m.	380,32	277,73	109,95	295,36	39,30	102,33	62,28	26,90
11:12:32 a.m.	378,63	276,36	110,18	294,65	39,34	102,03	62,12	26,89
11:17:32 a.m.	376,80	274,75	112,01	296,42	37,55	101,70	61,65	25,17
11:22:32 a.m.	375,10	273,72	109,51	293,61	37,04	101,12	61,00	25,87
11:27:32 a.m.	373,34	272,01	108,25	292,19	37,35	100,64	60,79	26,21
11:32:32 a.m.	371,65	270,63	109,25	292,69	37,31	100,37	60,63	26,47
11:37:32 a.m.	369,97	269,09	110,05	294,02	37,14	100,17	60,36	26,57
11:42:32 a.m.	368,22	267,60	111,01	294,46	36,73	100,25	59,76	26,66
11:47:32 a.m.	366,71	266,51	108,81	291,53	36,29	100,39	59,59	26,16
11:52:32 a.m.	365,01	265,18	107,36	289,51	35,63	99,74	59,43	26,59
11:57:32 a.m.	125,93	101,89	46,20	71,41	31,17	95,19	34,15	28,91
12:02:32 p.m.	45,82	50,05	39,65	40,90	27,92	29,56	30,44	29,13
12:07:32 p.m.	40,12	44,48	39,52	38,13	27,86	29,88	30,60	29,17

ANEXO M. Adquisición de temperaturas en el horno Rectangular.

REPORTE DE LA ADQUISICIÓN HORNO TEST 1.2 Operador: Daniel Ernesto Marrugo Carreazo Fecha: viernes, 01 de mayo de 2015 Hora: 11:44:49 a.m. Tipo de horno: Horno cuadrado Temperaturas en °C					T_1 Temp. Centro interior. T_2 Temp. Piso interior. T_3 Temp. Pared interior. T_4 Temp. Cúpula interior. T_5 Temp. Centro exterior. T_6 Temp. Piso exterior. T_7 Temp. Pared exterior. T_8 Temp. Cúpula exterior.			
T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_1
09:47:24 a.m.	175,31	46,70	67,21	50,02	66,58	46,36	66,06	26,27
09:52:24 a.m.	176,76	46,96	67,83	49,60	67,33	46,70	64,63	26,16
09:57:24 a.m.	178,27	47,32	68,25	50,34	68,10	46,92	65,28	26,74
10:02:24 a.m.	179,90	47,58	68,54	49,69	68,32	46,89	66,45	27,40
10:07:24 a.m.	181,99	47,60	68,20	48,03	69,11	46,88	64,72	27,36
10:12:24 a.m.	183,91	47,79	68,38	48,47	69,86	46,92	66,39	27,29
10:17:24 a.m.	185,45	48,24	68,71	49,39	70,79	47,22	66,75	27,27
10:22:24 a.m.	187,17	48,68	68,93	50,99	71,73	47,51	66,59	27,88
10:27:24 a.m.	188,51	49,08	69,40	52,09	72,89	47,72	67,58	28,03
10:32:24 a.m.	190,39	49,37	69,51	52,39	73,95	47,84	67,66	28,39
10:37:24 a.m.	191,88	49,53	69,53	50,80	74,74	47,94	64,47	28,47
10:42:24 a.m.	193,67	49,84	69,83	52,53	76,22	48,08	66,66	27,57
10:47:24 a.m.	195,60	50,02	70,07	52,74	77,33	48,19	67,15	27,71
10:52:24 a.m.	197,34	50,19	70,22	52,84	78,54	48,43	64,99	28,45
10:57:24 a.m.	199,20	50,70	70,44	52,99	79,75	48,73	66,18	28,74
11:02:24 a.m.	198,16	50,99	70,72	53,26	81,01	48,94	65,22	29,32
11:07:24 a.m.	198,17	51,20	70,78	54,29	82,36	49,20	64,71	29,13
11:12:24 a.m.	198,18	51,52	70,94	55,17	83,52	49,42	66,38	29,40
11:17:24 a.m.	198,90	52,07	71,11	55,47	84,79	49,70	67,58	28,64
11:22:24 a.m.	202,52	52,40	71,13	55,62	86,00	49,86	67,00	29,18
11:27:24 a.m.	206,76	52,68	71,32	56,33	87,69	50,19	65,86	29,55
11:32:24 a.m.	210,48	52,78	71,29	56,69	89,02	50,31	66,51	30,17
11:37:24 a.m.	215,06	53,08	71,26	56,94	90,37	50,45	66,97	30,20
11:42:24 a.m.	219,13	53,19	71,47	57,46	91,81	50,78	65,51	31,82
11:47:24 a.m.	224,70	53,63	71,44	58,53	93,38	51,02	66,49	29,87
11:52:24 a.m.	230,26	53,97	71,58	57,96	94,68	51,23	66,02	29,92
11:57:24 a.m.	235,02	54,15	71,69	58,46	96,06	51,17	65,28	31,02
12:02:24 p.m.	240,07	54,48	71,75	59,36	97,74	51,13	65,70	29,37
12:07:24 p.m.	245,33	54,60	71,88	59,66	99,24	51,36	66,09	30,55
12:12:24 p.m.	250,98	54,91	71,91	60,65	101,10	51,40	65,53	30,24
12:17:24 p.m.	257,11	54,85	72,03	60,16	102,30	51,52	67,42	30,21
12:22:24 p.m.	262,40	55,03	72,21	60,22	104,22	51,49	68,58	30,96

12:27:24 p.m.	269,07	55,29	72,01	60,49	106,54	52,02	69,60	30,42
12:32:24 p.m.	275,92	55,68	72,07	60,87	108,88	52,29	69,51	30,52
12:37:24 p.m.	283,86	55,17	72,24	59,30	109,88	51,72	66,85	29,94
12:42:24 p.m.	292,73	55,04	72,21	58,04	111,85	51,56	68,91	30,03
12:47:24 p.m.	300,17	55,20	72,30	58,31	113,90	51,55	68,78	30,20
12:52:24 p.m.	308,33	55,51	72,33	58,79	115,84	51,36	68,18	30,59
12:57:24 p.m.	317,19	55,92	72,39	60,04	117,65	50,96	67,91	30,59
01:02:24 p.m.	327,48	56,22	72,52	61,36	119,94	51,26	69,18	30,03
01:07:24 p.m.	337,52	56,21	72,51	62,00	121,75	51,33	65,74	31,22
01:12:24 p.m.	347,56	56,63	72,62	62,97	123,87	51,45	64,57	30,52
01:17:24 p.m.	357,61	56,99	72,76	63,60	126,07	51,83	64,39	30,61
01:22:24 p.m.	368,20	57,36	72,85	64,43	128,43	52,22	65,67	30,60
01:27:24 p.m.	376,85	57,57	72,95	64,85	130,30	52,22	64,77	30,83
01:32:24 p.m.	385,60	57,70	73,01	65,10	132,01	51,74	68,81	30,83
01:37:24 p.m.	395,32	58,00	73,03	65,39	134,06	51,64	68,47	29,92
01:42:24 p.m.	405,12	58,22	73,10	65,79	136,07	52,26	66,27	31,66
01:47:24 p.m.	414,54	58,42	73,13	66,42	138,41	52,42	65,40	30,17
01:52:24 p.m.	423,89	58,66	73,27	67,04	140,15	52,16	67,08	29,94
01:57:24 p.m.	434,99	59,07	73,25	66,79	142,40	51,39	68,32	29,56
02:02:24 p.m.	444,67	59,22	73,25	66,98	144,19	52,52	68,09	30,15
02:07:24 p.m.	453,45	59,59	73,20	67,45	146,53	52,89	68,38	30,38
02:12:24 p.m.	461,58	60,08	73,23	68,35	148,77	53,41	68,47	30,45
02:17:24 p.m.	468,36	60,39	73,54	68,96	150,65	52,82	68,64	31,33
02:22:24 p.m.	475,37	60,94	73,85	70,21	153,34	53,77	68,66	31,83
02:27:24 p.m.	480,98	61,25	73,98	71,38	155,03	53,57	68,89	30,48
02:32:24 p.m.	487,67	61,64	74,12	71,93	157,12	53,91	69,00	30,86
02:37:24 p.m.	495,36	61,61	74,00	72,16	158,90	54,12	69,28	30,81
02:42:24 p.m.	503,87	62,33	74,17	73,00	161,39	54,57	69,88	29,16
02:47:24 p.m.	510,95	62,29	74,22	73,52	163,25	54,64	69,96	29,01
02:52:24 p.m.	519,37	62,90	74,42	74,33	165,82	55,00	70,48	29,43
02:57:24 p.m.	528,41	63,09	74,53	75,58	167,64	55,32	70,71	28,20
03:02:24 p.m.	537,15	62,47	74,76	76,35	168,11	55,11	70,28	28,68
03:07:24 p.m.	543,23	61,79	74,88	76,77	169,52	54,48	69,86	27,89
03:12:24 p.m.	550,11	61,80	75,16	77,46	171,49	54,39	69,84	26,95
03:17:24 p.m.	556,78	62,28	75,13	77,89	173,84	54,31	70,25	26,99
03:22:24 p.m.	561,68	61,83	75,25	77,58	174,77	53,95	69,49	26,09
03:27:24 p.m.	567,80	62,71	75,30	77,84	177,42	54,41	70,19	25,95
03:32:24 p.m.	573,63	63,30	75,56	77,94	179,73	54,56	70,47	26,44
03:37:24 p.m.	579,26	63,93	75,79	77,87	181,76	54,87	70,59	26,84
03:42:24 p.m.	585,12	64,52	75,80	77,86	183,49	55,40	70,63	26,68
03:47:24 p.m.	590,11	64,97	76,02	78,12	185,19	55,55	70,77	27,00

03:52:24 p.m.	595,70	65,58	76,22	78,56	187,21	55,74	71,00	26,98
03:57:24 p.m.	601,48	66,10	76,18	79,04	188,94	56,07	71,10	27,16
04:02:24 p.m.	605,87	66,59	76,77	79,65	190,56	55,87	70,93	26,95
04:07:24 p.m.	610,22	67,08	77,05	80,39	192,08	56,17	70,50	27,10
04:12:24 p.m.	614,26	67,46	77,26	80,68	193,71	56,41	70,47	27,10
04:17:24 p.m.	619,00	67,84	77,52	81,01	195,10	56,29	70,23	27,12
04:22:24 p.m.	622,91	68,23	77,51	81,39	196,87	56,58	70,22	26,99
04:27:24 p.m.	626,47	68,50	77,60	81,60	198,09	56,85	69,77	27,31
04:32:24 p.m.	629,93	69,36	78,15	91,32	199,76	57,00	70,35	26,73
04:37:24 p.m.	633,06	69,80	78,53	92,33	201,41	57,37	70,48	26,83
04:42:24 p.m.	636,08	70,18	78,94	92,80	202,82	57,85	70,85	26,77
04:47:24 p.m.	639,45	70,62	79,14	93,43	204,34	57,66	71,14	26,57
04:52:24 p.m.	642,66	71,16	79,53	94,14	206,07	58,17	71,56	26,83
04:57:24 p.m.	645,50	71,84	79,29	95,48	207,74	58,17	71,82	26,81
05:02:24 p.m.	647,11	72,07	79,22	96,41	208,65	58,45	71,02	26,81
05:07:24 p.m.	649,21	72,42	79,50	96,49	210,05	58,48	71,68	26,25
05:12:24 p.m.	651,23	72,75	79,62	97,36	211,35	58,65	71,44	26,38
05:17:24 p.m.	653,33	73,17	80,05	98,24	212,72	58,86	71,22	25,90
05:22:24 p.m.	655,64	73,67	80,62	99,09	214,16	59,44	71,81	25,81
05:27:24 p.m.	658,34	74,12	81,15	99,71	215,58	59,85	72,04	25,32
05:32:24 p.m.	660,91	74,52	81,44	100,49	216,81	59,49	71,69	25,82
05:37:24 p.m.	663,34	75,00	81,65	101,45	218,04	59,67	71,12	25,63
05:42:25 p.m.	665,64	75,39	82,20	102,23	219,30	59,55	71,41	25,61
05:47:25 p.m.	668,11	75,92	82,46	102,90	220,99	61,13	72,19	24,94
05:52:25 p.m.	669,94	76,25	82,63	103,18	222,19	60,98	72,22	24,49
05:57:25 p.m.	671,71	76,71	83,16	103,91	223,55	61,38	72,58	24,43
06:02:25 p.m.	673,80	77,15	84,26	104,54	224,75	61,33	72,87	24,56
06:07:25 p.m.	675,33	77,54	84,87	105,31	225,99	61,60	73,01	24,04
06:12:25 p.m.	675,90	77,93	85,47	106,24	227,11	61,27	72,49	24,19
06:17:25 p.m.	676,82	78,36	85,39	106,72	228,42	60,63	73,01	24,05
06:22:25 p.m.	678,00	78,73	84,90	107,25	229,68	61,05	73,21	23,75
06:27:25 p.m.	679,01	79,15	84,96	107,88	230,83	61,28	73,91	24,22
06:32:25 p.m.	680,46	79,53	86,38	108,22	231,73	61,35	74,08	23,65
06:37:25 p.m.	681,80	79,95	87,44	108,82	232,82	61,07	73,93	24,09
06:42:25 p.m.	683,28	80,29	87,89	109,53	233,86	61,97	74,00	23,43
06:47:25 p.m.	684,53	80,69	88,56	110,07	235,02	62,09	74,08	23,15
06:52:25 p.m.	685,20	81,04	88,91	110,76	236,01	61,83	74,18	23,34
06:57:25 p.m.	685,28	81,45	89,18	111,37	237,09	61,75	74,43	23,30
07:02:25 p.m.	685,43	81,82	89,63	111,83	238,14	63,05	74,74	23,01
07:07:25 p.m.	685,59	82,19	90,24	112,19	239,47	63,39	75,05	22,89
07:12:25 p.m.	685,94	82,47	90,66	112,70	240,32	62,58	75,40	23,34

07:17:25 p.m.	686,07	82,78	90,57	112,65	241,19	62,36	75,11	22,67
07:22:25 p.m.	686,25	83,18	91,14	112,92	242,16	62,82	75,50	22,66
07:27:25 p.m.	685,87	83,56	91,47	113,20	243,26	62,79	75,96	22,60
07:32:25 p.m.	685,85	83,90	91,98	113,53	244,10	62,96	76,52	22,66
07:37:25 p.m.	686,78	84,37	92,56	113,90	245,22	63,86	76,94	22,21
07:42:25 p.m.	687,18	84,65	92,91	114,36	246,14	64,03	76,96	22,28
07:47:25 p.m.	686,57	84,86	93,43	115,09	246,80	63,96	77,73	22,34
07:52:25 p.m.	685,68	85,20	93,81	115,76	247,69	63,80	78,24	22,27
07:57:25 p.m.	684,16	85,60	94,02	116,06	248,58	63,85	78,01	22,48
08:02:25 p.m.	683,51	86,08	93,71	116,38	249,45	64,02	78,47	22,22
08:07:25 p.m.	681,54	86,46	93,55	116,75	250,20	64,52	78,66	22,04
08:12:25 p.m.	679,93	86,82	93,35	117,28	251,07	64,43	78,56	21,99
08:17:25 p.m.	679,58	87,16	94,78	117,92	251,87	65,04	78,95	21,81
08:22:25 p.m.	679,07	87,49	94,31	118,48	252,67	65,41	78,88	21,78
08:27:25 p.m.	678,47	87,82	95,04	119,04	253,42	65,26	78,95	21,80
08:32:25 p.m.	677,38	88,22	96,03	119,76	254,20	65,50	79,13	21,48
08:37:25 p.m.	676,04	88,59	97,31	120,23	255,06	65,88	79,25	21,83
08:42:25 p.m.	674,54	88,91	97,88	120,72	255,88	66,17	79,47	21,73
08:47:25 p.m.	672,94	89,31	98,49	121,11	256,69	66,55	79,75	21,19
08:52:25 p.m.	671,32	89,65	99,03	121,44	257,35	67,03	79,75	21,22
08:57:25 p.m.	670,78	89,89	99,54	121,64	258,06	66,98	79,90	21,12
09:02:25 p.m.	670,13	90,27	100,14	122,09	258,87	67,34	79,98	21,14
09:07:25 p.m.	668,73	90,53	100,73	122,65	259,48	67,55	80,04	20,46
09:12:25 p.m.	668,17	90,91	101,37	123,13	260,30	67,91	80,12	21,38
09:17:25 p.m.	667,17	91,32	101,97	123,59	261,06	68,24	80,58	20,75
09:22:25 p.m.	664,98	91,54	102,85	124,10	261,66	68,62	80,53	20,87
09:27:25 p.m.	663,50	91,88	103,58	124,58	262,42	68,82	80,73	21,10
09:32:25 p.m.	662,22	92,10	103,96	125,12	262,79	69,07	80,74	21,61
09:37:25 p.m.	660,76	92,16	105,15	125,31	262,94	69,16	80,62	20,80
09:42:25 p.m.	660,23	92,71	105,83	125,62	264,21	69,87	81,24	20,90
09:47:25 p.m.	659,04	92,83	107,07	125,92	264,62	70,10	81,20	21,38
09:52:25 p.m.	658,00	92,89	108,64	126,29	264,92	69,99	81,22	20,61
09:57:25 p.m.	657,05	93,27	109,11	126,71	265,61	70,23	81,35	20,49
10:02:25 p.m.	656,51	93,83	110,90	127,27	266,78	70,68	81,97	20,83
10:07:25 p.m.	655,21	94,12	112,96	127,73	267,37	71,14	82,22	20,65
10:12:25 p.m.	653,87	94,35	114,51	127,95	267,89	71,30	82,54	20,83
10:17:25 p.m.	652,14	94,37	116,19	128,22	267,75	71,44	82,22	20,69
10:22:25 p.m.	651,59	95,12	117,19	128,96	269,22	72,17	82,79	20,93
10:27:25 p.m.	650,83	95,34	118,66	128,74	269,81	72,31	82,91	20,63
10:32:25 p.m.	649,42	95,54	119,46	128,69	270,26	72,45	83,15	21,04
10:37:25 p.m.	647,72	95,55	121,13	128,72	270,10	72,51	83,06	20,88

10:42:25 p.m.	646,86	95,94	123,01	129,05	270,77	72,95	83,61	20,75
10:47:25 p.m.	646,08	96,55	124,74	129,10	271,82	73,61	84,63	20,74
10:52:25 p.m.	644,83	96,49	126,10	129,08	271,99	73,67	84,13	20,67
10:57:25 p.m.	643,80	96,56	127,55	128,82	272,13	73,57	83,32	20,52
11:02:25 p.m.	643,05	96,93	128,80	128,45	272,45	73,92	83,05	20,50
11:07:25 p.m.	642,59	97,50	130,06	128,56	273,55	74,35	82,90	20,64
11:12:25 p.m.	641,98	97,69	131,11	128,07	274,03	74,65	82,39	20,21
11:17:25 p.m.	641,22	97,60	133,17	128,33	273,66	74,47	81,91	20,13
11:22:25 p.m.	641,07	98,17	135,18	128,92	274,56	75,28	82,49	20,39
11:27:25 p.m.	640,64	98,35	136,83	129,24	275,05	75,49	82,34	20,42
11:32:25 p.m.	639,80	98,23	138,20	129,26	274,94	75,52	82,32	20,58
11:37:25 p.m.	639,19	98,03	139,53	130,18	274,71	75,57	82,46	20,69
11:42:25 p.m.	639,33	98,70	140,35	130,65	276,01	76,06	82,88	20,75
11:47:25 p.m.	638,87	98,88	141,69	130,62	276,25	76,08	82,83	20,72
11:52:25 p.m.	638,35	99,04	142,39	130,62	276,14	76,14	82,82	20,48
11:57:25 p.m.	637,93	99,47	144,21	130,83	276,34	76,50	82,95	20,23
12:02:25 a.m.	637,20	99,72	145,61	130,93	276,71	76,74	82,98	20,23
12:07:25 a.m.	636,94	100,11	147,48	130,94	277,21	77,19	83,22	20,31
12:12:25 a.m.	636,15	100,24	149,52	131,20	277,18	77,43	83,84	19,93
12:17:25 a.m.	636,03	100,38	151,19	131,95	277,45	77,63	84,51	20,50
12:22:25 a.m.	635,86	100,56	152,73	131,73	277,90	77,81	84,36	20,44
12:27:25 a.m.	635,83	101,03	154,27	131,88	278,49	78,07	84,95	19,95
12:32:25 a.m.	636,27	101,49	155,76	132,34	279,04	78,43	84,91	20,62
12:37:25 a.m.	636,63	101,56	157,01	132,33	279,04	78,53	85,33	19,96
12:42:25 a.m.	636,31	101,42	158,65	132,45	278,87	78,86	85,66	20,04
12:47:25 a.m.	636,99	101,89	160,03	132,93	279,69	79,17	86,33	20,09
12:52:25 a.m.	637,45	102,14	161,48	133,31	279,94	79,43	86,75	19,97
12:57:25 a.m.	637,34	101,91	162,95	133,73	279,53	79,48	86,81	19,93
01:02:25 a.m.	638,00	102,13	164,47	134,36	279,88	79,77	87,58	19,86
01:07:25 a.m.	639,25	102,32	166,10	135,25	280,47	80,03	88,28	20,00
01:12:25 a.m.	639,86	102,46	167,67	135,34	280,78	80,01	88,25	19,95
01:17:25 a.m.	640,46	102,85	169,17	135,02	280,95	80,20	88,42	19,89
01:22:25 a.m.	641,20	103,07	170,76	134,72	281,10	80,49	89,18	19,90
01:27:25 a.m.	641,51	103,12	172,30	135,15	280,99	80,55	89,58	19,55
01:32:25 a.m.	642,33	103,59	173,74	135,66	281,70	81,10	90,53	19,41
01:37:25 a.m.	642,65	103,87	175,31	136,49	281,89	81,21	90,84	20,40
01:42:25 a.m.	641,87	103,82	176,76	136,35	281,49	81,44	91,52	20,60
01:47:25 a.m.	642,26	104,02	178,27	135,89	281,78	81,56	92,47	20,51
01:52:25 a.m.	642,78	103,92	179,90	135,30	282,06	81,48	93,12	20,27
01:57:25 a.m.	643,89	103,83	181,99	135,42	282,21	81,49	94,00	20,00
02:02:25 a.m.	643,07	103,49	183,91	135,43	281,22	81,47	94,76	19,92

02:07:25 a.m.	643,70	103,78	185,45	135,58	281,94	81,74	96,12	19,77
02:12:25 a.m.	643,82	103,96	187,17	136,45	281,96	81,87	97,57	19,95
02:17:25 a.m.	643,05	103,78	188,51	136,44	281,65	81,94	98,40	20,04
02:22:25 a.m.	642,93	103,83	190,39	136,46	281,53	81,93	99,65	19,72
02:27:25 a.m.	642,26	103,73	191,88	136,50	281,48	82,05	101,16	20,08
02:32:25 a.m.	641,99	103,67	193,67	136,13	281,72	82,24	102,46	19,96
02:37:25 a.m.	642,67	103,64	195,60	135,56	282,30	82,46	104,15	20,40
02:42:25 a.m.	644,32	103,97	197,34	135,69	283,47	82,90	106,24	20,34
02:47:25 a.m.	645,08	103,94	199,20	135,67	283,34	83,04	107,93	20,47
02:52:25 a.m.	645,87	103,55	201,21	134,32	283,64	83,19	109,85	20,28
02:57:25 a.m.	646,16	102,99	203,01	134,01	283,45	83,01	111,33	20,12
03:02:25 a.m.	646,67	102,83	204,83	134,35	283,10	83,02	112,80	20,40
03:07:25 a.m.	647,79	102,96	206,76	135,10	282,68	83,01	114,40	19,93
03:12:25 a.m.	649,34	103,49	208,20	135,74	283,60	83,34	116,08	19,84
03:17:25 a.m.	650,09	103,67	210,01	136,79	283,36	83,52	117,93	19,39
03:22:25 a.m.	650,53	103,99	211,97	138,09	283,18	83,72	119,71	19,47
03:27:25 a.m.	650,64	104,37	214,09	138,84	283,51	84,13	122,08	19,46
03:32:25 a.m.	650,83	104,69	215,93	139,56	283,59	84,33	124,49	18,82
03:37:25 a.m.	650,48	104,95	217,94	140,23	283,68	84,64	126,87	19,01
03:42:25 a.m.	649,70	105,17	220,06	140,81	283,77	84,77	129,25	18,78
03:47:25 a.m.	649,32	105,32	221,81	141,62	283,59	84,89	131,83	18,78
03:52:25 a.m.	649,72	105,68	223,70	142,36	284,00	85,21	134,65	18,86
03:57:25 a.m.	649,99	105,83	225,39	142,70	284,20	85,45	137,42	18,96
04:02:25 a.m.	650,15	105,98	226,95	143,41	283,94	85,48	140,53	19,44
04:07:25 a.m.	650,39	106,08	228,62	143,36	284,13	85,69	143,72	19,05
04:12:25 a.m.	650,69	106,31	230,33	143,64	284,42	85,88	146,88	18,80
04:17:25 a.m.	651,68	106,49	232,48	144,38	284,86	86,07	150,88	18,98
04:22:25 a.m.	651,23	106,58	234,33	144,95	284,80	86,15	154,53	18,79
04:27:25 a.m.	650,75	106,65	236,42	145,39	284,65	86,33	158,11	19,09
04:32:25 a.m.	650,67	106,76	238,30	145,88	284,52	86,33	161,90	19,17
04:37:25 a.m.	652,33	107,09	240,04	146,17	285,12	86,53	165,73	18,69
04:42:25 a.m.	652,19	107,15	242,21	146,18	285,03	86,68	168,96	18,29
04:47:25 a.m.	651,67	107,23	244,01	146,33	285,13	86,72	172,46	18,64
04:52:25 a.m.	651,25	107,26	245,84	146,40	284,87	86,84	175,67	18,48
04:57:25 a.m.	651,62	107,53	247,89	146,55	285,59	87,26	179,93	18,49
05:02:25 a.m.	651,85	107,53	249,77	146,76	285,63	87,31	184,39	18,45
05:07:25 a.m.	651,51	107,48	252,12	147,08	285,35	87,30	188,80	18,55
05:12:26 a.m.	651,65	107,52	253,95	147,33	285,41	87,41	192,72	18,34
05:17:26 a.m.	652,68	107,80	255,90	148,00	285,76	87,60	197,37	18,48
05:22:26 a.m.	654,00	107,79	257,90	148,34	285,61	87,76	202,82	18,20
05:27:26 a.m.	654,62	107,76	260,07	148,79	285,77	87,72	208,33	17,96

05:32:26 a.m.	654,72	107,76	262,13	148,75	285,65	87,84	213,63	18,11
05:37:26 a.m.	656,03	108,05	264,17	149,20	286,21	88,05	220,07	18,35
05:42:26 a.m.	656,60	108,12	266,28	149,42	286,26	88,23	225,76	18,22
05:47:26 a.m.	656,24	108,12	268,41	149,71	285,93	88,29	232,71	17,85
05:52:26 a.m.	655,90	108,30	270,67	150,13	286,08	88,44	239,23	18,64
05:57:26 a.m.	655,44	108,40	272,90	150,32	286,22	88,60	243,80	17,93
06:02:26 a.m.	654,27	108,31	275,10	150,50	286,20	88,61	248,31	18,24
06:07:26 a.m.	652,34	108,24	277,49	150,51	286,09	88,65	253,54	18,13
06:12:26 a.m.	651,71	108,53	279,68	150,90	286,63	88,90	260,35	18,43
06:17:26 a.m.	650,72	108,53	281,86	151,38	286,23	88,97	267,96	18,36
06:22:26 a.m.	649,90	108,52	284,49	151,59	286,17	89,01	273,31	18,11
06:27:26 a.m.	650,87	108,53	287,05	151,95	286,11	89,13	278,88	18,61
06:32:26 a.m.	651,14	108,76	289,48	152,19	286,48	89,41	285,02	19,15
06:37:26 a.m.	649,75	108,94	291,88	152,54	286,53	89,66	292,29	19,15
06:42:26 a.m.	647,52	109,03	294,38	153,04	286,28	89,82	299,05	19,14
06:47:26 a.m.	646,23	109,17	297,02	153,47	286,41	89,99	305,74	19,69
06:52:26 a.m.	644,50	109,33	299,69	154,06	286,29	90,29	313,87	19,67
06:57:26 a.m.	643,42	109,59	302,53	154,43	286,66	90,60	321,42	20,09
07:02:26 a.m.	642,04	109,65	305,28	154,14	286,68	90,84	327,09	20,43
07:07:26 a.m.	640,64	109,64	307,75	154,07	286,26	91,00	333,28	19,96
07:12:26 a.m.	639,99	109,80	310,37	153,77	286,57	91,19	339,52	19,92
07:17:26 a.m.	638,33	109,40	313,04	153,19	285,94	90,92	344,72	19,96
07:22:26 a.m.	637,17	109,17	315,97	152,87	286,14	90,83	349,58	19,62
07:27:26 a.m.	635,92	109,15	318,94	152,91	286,17	90,87	354,77	19,72
07:32:26 a.m.	634,67	109,22	321,34	153,05	286,51	91,12	359,73	20,06
07:37:26 a.m.	633,41	109,41	324,01	153,74	286,72	91,51	363,65	20,24
07:42:26 a.m.	632,04	109,59	326,72	154,22	286,76	92,14	367,13	20,83
07:47:26 a.m.	630,50	109,69	328,80	154,38	286,33	92,66	371,39	20,97
07:52:26 a.m.	629,91	110,20	331,93	154,83	286,87	93,36	374,91	21,27
07:57:26 a.m.	628,99	110,39	334,72	155,18	286,72	93,64	378,49	21,67
08:02:26 a.m.	628,14	110,25	337,25	155,94	286,44	94,01	382,15	21,07
08:07:26 a.m.	627,24	110,54	339,76	156,94	286,66	94,37	387,79	22,32
08:12:26 a.m.	627,02	110,84	342,10	158,41	287,05	94,60	392,28	21,84
08:17:26 a.m.	625,41	110,69	344,49	158,62	286,52	94,43	396,51	22,36
08:22:26 a.m.	624,66	110,87	346,80	158,86	286,49	94,77	400,83	23,16
08:27:26 a.m.	624,60	111,32	348,94	159,19	286,91	95,09	404,73	22,99
08:32:26 a.m.	623,87	111,05	351,08	159,84	286,68	95,51	406,52	23,68
08:37:26 a.m.	623,30	111,29	353,41	160,72	286,56	95,92	410,17	23,61
08:42:26 a.m.	623,28	111,69	355,81	160,24	287,20	96,57	413,50	24,25
08:47:26 a.m.	622,83	111,85	358,25	160,24	286,92	97,08	416,83	24,18
08:52:26 a.m.	622,54	112,13	360,72	160,37	286,88	97,67	420,28	24,09

08:57:26 a.m.	622,43	112,42	363,01	160,60	287,33	98,45	424,04	25,14
09:02:26 a.m.	621,36	111,99	365,25	159,77	286,27	98,52	428,11	24,85
09:07:26 a.m.	621,65	111,95	367,99	159,32	286,78	98,80	431,95	24,57
09:12:26 a.m.	621,03	111,62	370,99	159,04	286,49	98,89	433,40	25,02
09:17:26 a.m.	620,63	111,50	373,41	158,97	286,10	99,15	436,45	24,81
09:22:26 a.m.	620,46	111,51	375,97	158,85	286,58	99,56	438,46	25,17
09:27:26 a.m.	620,45	111,24	379,05	158,53	285,92	99,91	441,81	25,53
09:32:26 a.m.	620,58	110,96	382,43	157,94	285,52	100,04	445,46	25,55
09:37:26 a.m.	621,26	110,70	386,32	157,63	285,61	100,02	447,92	25,96
09:42:26 a.m.	621,31	110,39	389,65	157,72	284,98	100,02	450,33	26,71
09:47:26 a.m.	621,99	110,15	392,48	156,91	284,96	100,09	454,79	26,17
09:52:26 a.m.	622,11	109,80	394,87	156,72	284,57	99,92	455,68	26,49
09:57:26 a.m.	622,14	109,61	398,06	156,57	284,26	99,98	459,30	26,66
10:02:26 a.m.	622,41	109,46	400,99	156,76	283,98	100,24	460,48	26,95
10:07:26 a.m.	622,87	109,51	403,08	156,29	283,90	100,51	465,09	26,61
10:12:26 a.m.	622,76	108,82	405,82	155,24	283,54	100,43	466,02	26,60
10:17:26 a.m.	623,38	108,77	408,42	155,51	283,38	100,65	468,70	27,32
10:22:26 a.m.	624,15	109,02	410,96	157,20	283,52	100,90	468,09	27,32
10:27:26 a.m.	623,62	108,85	414,73	157,42	282,51	100,83	471,16	27,37
10:32:26 a.m.	624,43	108,86	418,44	156,26	282,41	100,87	475,42	27,43
10:37:26 a.m.	623,56	108,24	421,68	154,54	282,18	100,63	478,07	27,61
10:42:26 a.m.	624,15	107,93	424,52	154,67	281,81	100,59	477,99	27,54
10:47:26 a.m.	625,24	107,82	427,20	154,10	281,35	100,56	481,74	27,74
10:52:26 a.m.	625,72	107,24	429,88	152,90	280,61	100,24	484,77	28,05
10:57:26 a.m.	626,54	106,80	432,14	151,97	279,94	100,00	485,79	27,89
11:02:26 a.m.	628,68	107,26	435,03	153,03	280,18	100,34	483,66	29,38
11:07:26 a.m.	629,02	107,48	438,27	154,65	279,41	99,89	483,91	28,35
11:12:26 a.m.	629,85	107,51	441,49	154,89	279,12	99,93	485,39	28,69
11:17:26 a.m.	631,45	108,40	444,51	156,20	279,30	100,01	488,02	28,96
11:22:26 a.m.	631,68	108,74	447,49	157,16	279,17	100,06	486,53	30,59
11:27:26 a.m.	631,23	108,54	450,92	159,98	278,67	99,97	487,45	29,20
11:32:26 a.m.	631,00	108,31	454,50	161,25	278,65	99,97	488,27	30,36
11:37:26 a.m.	631,11	108,36	457,99	161,43	278,53	100,02	488,99	29,68
11:42:26 a.m.	631,72	108,15	461,57	163,63	278,96	100,55	489,45	29,38
11:47:26 a.m.	631,32	107,27	465,14	162,80	278,31	100,20	490,12	29,63
11:52:26 a.m.	630,73	107,11	468,89	162,29	277,90	99,93	491,76	30,33
11:57:26 a.m.	630,40	107,30	472,87	163,09	277,87	100,01	491,31	30,31
12:02:26 p.m.	630,09	107,29	477,15	163,77	277,73	100,14	492,90	30,06
12:07:26 p.m.	630,02	108,41	481,03	164,73	277,44	100,15	493,30	30,00
12:12:26 p.m.	629,85	109,65	485,10	165,01	277,29	100,01	493,72	30,18
12:17:26 p.m.	629,36	110,31	489,52	165,57	276,96	99,98	495,28	29,28

12:22:26 p.m.	629,13	111,08	493,35	165,65	276,90	99,97	496,05	30,19
12:27:26 p.m.	628,84	111,54	496,97	166,04	276,85	100,02	497,28	30,35
12:32:26 p.m.	628,75	111,82	500,36	166,30	276,44	99,85	498,51	30,17
12:37:26 p.m.	628,66	111,93	504,72	166,23	276,33	99,97	500,67	30,50
12:42:26 p.m.	628,33	111,63	509,14	164,55	276,15	99,93	505,09	29,89
12:47:26 p.m.	628,32	111,39	512,87	164,51	275,91	99,83	506,16	29,88
12:52:26 p.m.	628,85	111,36	516,95	164,77	275,71	99,79	507,30	30,40
12:57:26 p.m.	629,15	111,31	520,52	165,47	275,56	99,65	508,88	29,80
01:02:26 p.m.	629,18	111,43	523,62	166,11	275,32	99,60	510,02	31,66
01:07:26 p.m.	628,79	111,55	529,38	165,45	275,08	99,62	511,70	30,52
01:12:26 p.m.	629,18	111,59	534,54	165,66	274,88	99,79	512,99	30,47
01:17:26 p.m.	629,49	111,86	539,02	166,23	274,95	100,02	514,73	31,01
01:22:26 p.m.	628,81	111,67	544,50	165,75	274,11	99,71	517,55	30,50
01:27:26 p.m.	628,48	111,53	550,37	165,89	273,78	99,51	519,56	31,11
01:32:26 p.m.	628,39	111,65	557,61	166,74	273,60	99,19	521,24	30,55
01:37:26 p.m.	628,38	111,79	562,33	166,81	273,66	99,17	523,05	31,06
01:42:26 p.m.	628,03	111,71	565,92	166,90	273,39	98,94	524,75	30,79
01:47:26 p.m.	627,98	111,93	569,59	167,42	273,27	99,06	526,04	31,11
01:52:26 p.m.	627,51	112,05	574,48	167,76	272,94	98,96	528,14	31,87
01:57:26 p.m.	627,01	112,00	581,10	167,77	272,64	98,83	530,00	30,98
02:02:26 p.m.	627,48	112,57	587,29	168,71	272,95	99,34	532,21	31,48
02:07:26 p.m.	626,95	112,52	592,35	168,86	272,44	98,98	533,40	31,66
02:12:26 p.m.	626,21	112,52	596,88	168,63	272,48	99,08	534,86	32,38
02:17:26 p.m.	625,42	112,46	601,63	168,07	271,97	98,94	537,15	33,90
02:22:26 p.m.	624,64	112,32	606,94	168,25	271,63	99,08	539,39	34,71
02:27:26 p.m.	624,46	112,52	611,59	168,91	271,32	99,11	540,90	34,85
02:32:26 p.m.	623,79	112,70	616,47	169,43	271,10	99,05	542,14	33,62
02:37:26 p.m.	622,51	112,38	620,88	169,30	270,18	98,28	543,98	36,17
02:42:26 p.m.	622,07	111,89	625,72	168,45	269,54	97,40	545,22	35,61
02:47:26 p.m.	621,98	111,47	630,66	165,94	269,29	97,22	549,45	35,35
02:52:26 p.m.	621,19	110,91	636,92	165,92	268,88	97,16	550,26	36,27
02:57:26 p.m.	620,68	110,70	642,97	165,45	268,60	97,19	551,94	37,25
03:02:26 p.m.	621,84	111,30	648,74	165,89	268,98	97,52	554,48	36,52
03:07:26 p.m.	622,53	112,71	654,02	167,72	269,60	98,90	557,38	35,95
03:12:26 p.m.	621,58	112,65	660,30	167,39	269,09	98,71	559,12	36,38
03:17:26 p.m.	621,65	112,62	666,32	167,46	268,98	98,65	560,50	35,99
03:22:26 p.m.	620,26	111,60	672,11	166,63	267,18	97,52	562,16	38,66
03:27:26 p.m.	620,34	111,93	676,72	166,81	267,59	97,93	563,42	39,69
03:32:26 p.m.	620,53	111,87	682,97	167,60	266,98	97,65	565,18	38,55
03:37:26 p.m.	620,35	111,80	689,63	167,65	266,47	97,33	567,18	37,44
03:42:26 p.m.	619,65	111,58	695,11	166,88	266,11	96,85	568,86	37,64

03:47:26 p.m.	619,62	111,44	702,24	166,96	265,54	96,57	570,72	36,40
03:52:26 p.m.	619,22	111,34	711,77	166,93	265,55	96,31	572,06	32,62
03:57:26 p.m.	618,44	110,98	719,10	166,24	264,80	96,02	575,30	31,95
04:02:26 p.m.	618,45	111,09	724,61	166,26	264,47	95,83	575,78	32,16
04:07:27 p.m.	618,20	111,07	730,31	166,46	264,44	95,76	577,31	32,34
04:12:27 p.m.	617,43	110,97	737,00	166,35	264,03	95,62	579,59	31,45
04:17:27 p.m.	616,93	110,84	741,45	165,97	263,31	95,30	581,83	30,86
04:22:27 p.m.	616,21	110,48	746,84	165,13	262,81	95,09	584,12	30,69
04:27:27 p.m.	616,20	110,25	753,07	165,51	262,62	94,85	585,23	31,25
04:32:27 p.m.	615,96	110,38	759,04	165,87	262,23	94,77	586,76	31,38
04:37:27 p.m.	615,13	110,07	764,35	165,14	261,77	94,27	588,18	30,89
04:42:27 p.m.	615,07	109,54	769,76	164,49	261,40	94,11	590,10	31,21
04:47:27 p.m.	615,91	109,52	775,34	164,49	261,31	94,03	591,26	30,38
04:52:27 p.m.	615,56	109,37	780,32	164,34	260,85	93,94	592,74	30,68
04:57:27 p.m.	614,95	109,27	784,41	163,88	260,44	93,85	594,59	30,53
05:02:27 p.m.	614,57	108,86	789,07	163,00	260,18	93,86	596,25	30,35
05:07:27 p.m.	614,16	108,55	796,59	162,92	259,77	93,85	597,80	28,86
05:12:27 p.m.	614,53	108,83	801,79	163,94	259,75	94,12	599,41	29,22
05:17:27 p.m.	614,59	109,13	806,20	164,66	259,85	94,21	600,76	29,58
05:22:27 p.m.	613,89	108,66	812,09	164,65	259,18	93,94	602,21	29,01
05:27:27 p.m.	613,53	108,79	817,67	164,81	259,05	93,97	603,29	28,90
05:32:27 p.m.	612,91	108,53	821,58	165,00	258,52	93,86	604,21	28,28
05:37:27 p.m.	612,31	108,08	850,31	165,03	257,91	93,51	604,58	28,10
05:42:27 p.m.	611,60	107,71	846,41	163,33	257,52	93,45	606,43	27,71
05:47:27 p.m.	611,39	106,93	840,80	162,02	256,91	93,13	608,00	27,77
05:52:27 p.m.	610,90	106,53	840,56	160,57	256,81	93,17	609,60	27,39
05:57:27 p.m.	610,87	106,21	840,47	160,76	256,46	93,01	610,66	27,16
06:02:27 p.m.	610,43	106,08	840,48	160,36	256,06	92,87	612,00	27,42
06:07:27 p.m.	610,28	105,80	840,49	159,55	255,96	92,81	613,30	27,20
06:12:27 p.m.	609,83	105,74	840,50	159,68	255,21	92,80	615,41	26,58
06:17:27 p.m.	609,88	105,58	840,51	159,52	255,24	92,75	616,51	27,64
06:22:27 p.m.	609,41	105,38	840,52	159,44	254,82	92,60	617,65	27,16
06:27:27 p.m.	609,17	105,32	840,53	159,79	254,26	92,58	619,22	25,88
06:32:27 p.m.	608,53	105,31	840,54	160,24	253,84	92,50	620,51	25,52
06:37:27 p.m.	608,29	105,31	840,55	160,62	253,53	92,46	621,95	25,67
06:42:27 p.m.	608,19	105,24	855,75	160,92	253,28	92,42	623,05	25,81
06:47:27 p.m.	607,96	105,20	848,95	161,05	252,91	92,37	624,02	24,85
06:52:27 p.m.	608,12	105,29	848,63	161,40	252,65	92,50	624,98	25,21
06:57:27 p.m.	607,90	105,19	845,16	161,66	252,11	92,31	625,45	24,99
07:02:27 p.m.	607,77	105,27	844,99	161,74	251,82	92,28	626,35	25,02
07:07:27 p.m.	607,32	105,27	859,23	161,50	251,40	92,16	627,26	25,08

07:12:27 p.m.	607,55	105,23	854,36	161,61	250,93	92,03	628,18	24,71
07:17:27 p.m.	607,54	105,14	850,95	161,79	250,53	91,91	628,81	23,82
07:22:27 p.m.	607,42	105,09	850,96	161,70	250,11	91,85	629,61	23,82
07:27:27 p.m.	607,27	105,09	850,97	161,97	249,80	91,77	630,42	23,05
07:32:27 p.m.	607,51	105,07	850,98	162,12	249,59	91,84	631,13	23,66
07:37:27 p.m.	608,26	104,95	850,99	162,06	249,53	91,98	631,84	23,63
07:42:27 p.m.	608,17	104,57	866,49	161,85	249,07	91,86	632,39	23,68
07:47:27 p.m.	608,24	104,34	865,69	162,06	248,76	91,91	633,12	23,49
07:52:27 p.m.	607,66	104,19	862,22	161,63	248,44	91,85	633,68	22,96
07:57:27 p.m.	607,45	104,02	862,23	160,97	247,91	91,66	634,85	22,72
08:02:27 p.m.	608,04	104,07	862,24	160,70	247,83	91,76	635,85	22,38
08:07:27 p.m.	608,08	103,84	862,25	160,60	247,27	91,63	636,66	22,39
08:12:27 p.m.	608,04	103,58	862,26	160,30	246,94	91,52	637,32	21,99
08:17:27 p.m.	608,06	103,41	862,27	160,16	246,45	91,36	638,11	21,90
08:22:27 p.m.	608,24	103,25	862,28	160,35	246,05	91,27	638,80	22,55
08:27:27 p.m.	608,62	103,30	862,29	160,03	245,82	91,13	639,53	21,56
08:32:27 p.m.	608,63	103,21	858,77	159,82	245,22	90,90	640,44	21,56
08:37:27 p.m.	608,82	103,18	855,50	159,90	244,78	90,68	641,11	22,49
08:42:27 p.m.	608,23	103,06	854,11	159,95	244,45	90,58	641,91	22,50
08:47:27 p.m.	607,83	102,93	852,86	159,65	244,03	90,36	642,75	21,45
08:52:27 p.m.	607,86	102,80	852,87	159,57	243,61	90,15	643,65	21,29
08:57:27 p.m.	607,93	102,53	852,88	159,67	243,22	90,00	644,26	22,03
09:02:27 p.m.	608,09	102,37	852,89	159,47	242,95	89,93	644,78	22,03
09:07:27 p.m.	608,46	102,04	849,78	159,20	242,69	89,91	645,51	21,33
09:12:27 p.m.	608,46	102,08	847,99	158,68	242,10	89,86	646,82	21,32
09:17:27 p.m.	608,63	101,85	845,41	158,69	241,60	89,49	647,29	21,06
09:22:27 p.m.	609,01	101,72	840,24	158,62	241,37	89,35	647,98	21,18
09:27:27 p.m.	609,33	101,66	838,78	158,38	241,05	89,27	648,59	21,73
09:32:27 p.m.	609,46	101,50	838,65	157,98	240,49	89,07	649,31	20,88
09:37:27 p.m.	609,65	101,59	837,34	157,47	240,23	88,99	649,66	21,11
09:42:27 p.m.	609,88	101,61	835,62	156,94	239,89	88,86	650,44	21,27
09:47:27 p.m.	610,07	101,59	833,89	156,76	239,36	88,70	650,84	21,65
09:52:27 p.m.	610,20	101,46	832,81	156,49	238,82	88,42	651,07	21,16
09:57:27 p.m.	610,42	101,44	829,35	156,36	238,38	88,25	651,45	20,89
10:02:27 p.m.	610,86	101,51	828,42	156,33	238,08	88,14	651,79	20,87
10:07:27 p.m.	611,09	101,42	827,92	156,12	237,65	87,96	651,95	20,83
10:12:27 p.m.	611,32	101,33	828,57	155,79	237,24	87,81	652,09	20,73
10:17:27 p.m.	611,54	101,08	827,79	155,40	236,86	87,78	651,95	21,44
10:22:27 p.m.	612,08	101,06	826,63	155,08	236,57	87,72	651,92	21,21
10:27:27 p.m.	612,52	100,98	825,21	154,95	236,03	87,54	652,04	20,56
10:32:27 p.m.	612,78	100,96	824,25	154,83	235,65	87,38	651,89	20,40

10:37:27 p.m.	613,07	100,81	822,77	154,48	235,27	87,27	651,41	21,18
10:42:27 p.m.	613,38	100,59	822,54	153,87	234,93	87,21	651,09	20,74
10:47:27 p.m.	613,93	100,59	821,43	153,74	234,58	87,17	651,20	20,77
10:52:27 p.m.	614,49	100,38	820,80	153,20	234,27	87,18	650,80	20,78
10:57:27 p.m.	615,09	99,85	820,47	153,13	233,66	87,02	650,04	21,21
11:02:27 p.m.	615,43	99,52	819,35	152,90	233,21	86,70	649,60	20,39
11:07:27 p.m.	616,09	99,26	818,25	152,62	232,86	86,60	649,04	21,68
11:12:27 p.m.	616,82	98,90	816,97	152,84	232,37	86,43	648,41	22,07
11:17:27 p.m.	617,51	98,64	816,11	153,12	231,89	86,13	647,76	22,67
11:22:27 p.m.	618,23	98,11	816,65	153,24	231,46	85,81	647,03	23,11
11:27:27 p.m.	618,98	97,68	817,07	153,29	231,07	85,48	646,37	23,25
11:32:27 p.m.	619,30	97,20	816,96	152,87	230,52	84,98	645,57	21,63
11:37:27 p.m.	620,13	97,08	816,83	152,68	230,22	84,87	645,12	21,96
11:42:27 p.m.	620,79	97,13	816,00	152,08	229,88	84,73	644,78	21,42
11:47:27 p.m.	621,47	97,21	814,41	151,23	229,39	84,61	644,57	21,41
11:52:27 p.m.	622,21	97,40	814,56	151,08	228,96	84,58	644,08	21,17
11:57:27 p.m.	623,17	97,67	811,57	150,92	228,87	84,69	643,46	21,37
12:02:27 a.m.	623,89	97,67	808,37	150,28	228,50	84,76	642,51	21,16
12:07:27 a.m.	624,69	97,67	807,03	149,58	228,18	84,83	641,60	21,35
12:12:27 a.m.	625,54	97,62	806,30	148,98	227,73	84,81	641,42	21,10
12:17:27 a.m.	626,54	97,69	805,44	148,71	227,38	84,88	640,70	20,79
12:22:27 a.m.	627,45	97,62	805,23	148,61	226,94	84,93	639,99	21,14
12:27:27 a.m.	628,51	97,63	805,32	148,35	226,71	84,90	639,48	21,18
12:32:27 a.m.	629,57	97,56	805,14	147,97	226,21	84,78	639,01	21,33
12:37:27 a.m.	630,46	97,49	805,18	147,72	225,79	84,60	638,34	21,66
12:42:27 a.m.	631,58	97,32	805,19	147,72	225,48	84,61	637,53	21,86
12:47:27 a.m.	632,44	96,76	803,80	147,67	224,76	84,19	636,59	21,55
12:52:27 a.m.	633,60	96,45	791,79	147,74	224,41	83,93	635,63	21,30
12:57:27 a.m.	634,69	96,48	793,09	147,50	224,01	83,72	635,23	21,44
01:02:27 a.m.	635,78	96,40	796,23	147,24	223,51	83,50	634,55	21,37
01:07:27 a.m.	636,77	96,19	794,57	146,97	223,05	83,36	633,64	20,82
01:12:27 a.m.	637,74	96,21	794,43	146,77	222,54	83,17	632,93	20,89
01:17:27 a.m.	638,75	96,27	794,70	146,39	222,15	82,92	632,11	20,78
01:22:27 a.m.	639,92	96,35	794,43	146,36	221,73	82,78	631,53	20,21
01:27:27 a.m.	641,12	96,48	793,39	146,41	221,39	82,75	630,81	20,21
01:32:27 a.m.	642,23	96,52	792,31	146,35	220,98	82,70	629,85	20,73
01:37:27 a.m.	643,32	96,34	790,64	146,11	220,60	82,69	628,86	20,87
01:42:27 a.m.	644,47	95,95	786,61	145,91	220,10	82,58	627,95	20,76
01:47:27 a.m.	645,50	95,92	786,39	145,62	219,68	82,39	627,20	20,45
01:52:27 a.m.	646,78	96,05	787,14	145,44	219,20	82,30	626,49	19,82
01:57:27 a.m.	647,93	96,10	789,63	145,09	218,93	82,17	625,22	20,55

02:02:27 a.m.	648,98	96,13	788,92	144,80	218,45	82,02	624,43	20,18
02:07:27 a.m.	650,06	96,02	789,64	144,42	218,07	81,99	623,53	20,37
02:12:27 a.m.	651,01	95,96	786,05	144,00	217,63	81,81	622,70	20,01
02:17:27 a.m.	652,20	96,00	785,57	143,94	217,16	81,67	622,07	19,72
02:22:27 a.m.	653,36	96,04	784,68	143,94	216,61	81,52	621,48	19,80
02:27:27 a.m.	654,40	95,94	782,79	143,76	216,07	81,18	620,71	19,94
02:32:27 a.m.	655,35	95,84	783,23	143,23	215,65	80,85	619,61	19,37
02:37:27 a.m.	656,51	95,82	781,54	143,09	215,28	80,70	618,80	19,42
02:42:27 a.m.	657,75	95,56	779,77	142,95	214,97	80,62	617,75	20,32
02:47:27 a.m.	658,74	95,07	778,15	142,62	214,56	80,52	616,57	20,49
02:52:27 a.m.	659,75	95,01	776,02	142,35	214,02	80,28	615,75	19,83
02:57:27 a.m.	660,76	94,93	773,45	141,89	213,50	80,09	614,92	19,64
03:02:27 a.m.	662,09	95,03	772,98	141,90	213,21	79,98	614,08	19,71
03:07:27 a.m.	663,24	94,94	770,68	141,87	212,69	79,75	612,94	19,08
03:12:28 a.m.	664,34	94,94	768,53	141,64	212,27	79,63	612,02	19,46
03:17:28 a.m.	665,38	94,88	770,54	141,13	211,94	79,58	610,90	19,12
03:22:28 a.m.	666,45	94,89	766,78	140,97	211,41	79,47	610,22	18,70
03:27:28 a.m.	667,69	94,96	760,00	141,06	210,97	79,32	609,40	19,11
03:32:28 a.m.	668,73	94,98	758,08	140,90	210,52	79,12	608,42	18,90
03:37:28 a.m.	669,80	94,97	758,26	140,57	210,13	78,91	607,30	19,27
03:42:28 a.m.	670,71	94,74	757,59	140,09	209,71	78,79	606,09	18,91
03:47:28 a.m.	671,82	94,76	757,43	139,88	209,37	78,75	605,31	18,71
03:52:28 a.m.	672,93	94,74	756,42	139,74	208,84	78,60	604,25	18,89
03:57:28 a.m.	674,02	94,71	754,77	139,51	208,43	78,45	603,25	18,68
04:02:28 a.m.	674,84	94,55	754,22	138,96	208,11	78,39	601,87	18,67
04:07:28 a.m.	675,72	94,45	750,83	138,40	207,64	78,23	600,97	19,07
04:12:28 a.m.	676,85	94,31	749,30	138,18	207,26	78,16	599,95	18,70
04:17:28 a.m.	677,70	94,20	747,58	137,98	206,49	77,89	599,29	18,72
04:22:28 a.m.	678,53	94,03	745,04	137,53	206,14	77,58	598,08	19,42
04:27:28 a.m.	679,27	93,48	743,27	137,29	205,73	77,22	596,76	18,89
04:32:28 a.m.	680,29	93,35	742,94	136,85	205,50	77,16	595,90	19,33
04:37:28 a.m.	681,05	93,13	742,86	136,31	205,03	77,07	594,77	19,15
04:42:28 a.m.	681,86	92,83	740,58	136,27	204,41	76,92	593,39	20,01
04:47:28 a.m.	682,58	92,63	739,73	136,18	203,97	76,65	592,29	19,70
04:52:28 a.m.	683,48	92,73	737,95	135,78	203,65	76,48	591,45	19,72
04:57:28 a.m.	684,14	92,68	741,30	135,15	203,10	76,30	590,54	19,35
05:02:28 a.m.	684,73	92,66	741,35	134,84	202,61	76,07	589,33	19,69
05:07:28 a.m.	685,56	92,62	740,43	134,31	202,21	75,94	588,25	19,49
05:12:28 a.m.	686,07	92,32	739,28	134,11	201,77	75,64	586,92	19,06
05:17:28 a.m.	686,85	92,34	738,48	133,81	201,49	75,63	585,69	19,67
05:22:28 a.m.	687,47	92,30	740,46	133,68	200,76	75,46	584,90	18,90

05:27:28 a.m.	687,99	92,17	738,70	132,98	200,37	75,23	583,79	18,97
05:32:28 a.m.	688,50	92,00	737,00	132,48	200,06	75,04	582,26	19,41
05:37:28 a.m.	689,22	92,00	735,52	132,05	199,83	74,97	580,86	19,36
05:42:28 a.m.	689,83	91,91	734,05	131,89	199,46	74,98	579,71	19,49
05:47:28 a.m.	690,58	91,81	732,01	132,05	198,97	74,93	578,76	18,95
05:52:28 a.m.	691,16	91,68	730,01	131,55	198,57	74,75	577,63	19,59
05:57:28 a.m.	691,63	91,56	729,02	130,91	198,22	74,59	576,24	19,42
06:02:28 a.m.	692,16	91,47	726,87	130,74	197,71	74,48	575,00	19,58
06:07:28 a.m.	692,63	91,31	725,01	130,91	197,23	74,32	573,52	19,87
06:12:28 a.m.	693,05	91,22	722,97	130,62	196,73	74,13	572,46	19,15
06:17:28 a.m.	693,45	91,06	721,61	130,31	196,48	74,14	571,07	19,81
06:22:28 a.m.	693,88	91,02	719,93	130,18	196,22	74,16	569,91	19,48
06:27:28 a.m.	694,42	91,19	717,93	130,23	195,74	74,41	569,06	19,91
06:32:28 a.m.	694,69	91,38	716,42	129,95	195,54	74,65	567,43	20,54
06:37:28 a.m.	695,04	91,42	714,87	129,63	195,35	75,04	566,18	20,74
06:42:28 a.m.	695,45	91,62	713,37	129,47	194,99	75,44	565,15	20,92
06:47:28 a.m.	695,78	91,85	711,54	129,39	194,63	75,84	563,83	21,17
06:52:28 a.m.	696,09	92,15	709,98	129,37	194,33	76,29	562,51	21,46
06:57:28 a.m.	696,36	92,28	708,00	128,90	194,09	76,73	561,13	21,86
07:02:28 a.m.	696,73	92,43	706,43	128,71	193,52	77,17	560,45	22,27
07:07:28 a.m.	696,91	92,44	704,73	128,06	193,25	77,56	559,01	22,33
07:12:28 a.m.	697,27	92,40	702,74	127,93	192,75	77,81	557,80	22,62
07:17:28 a.m.	697,60	92,55	700,30	128,24	192,28	78,11	556,55	22,86
07:22:28 a.m.	697,86	92,72	699,36	128,35	192,02	78,35	555,00	22,99
07:27:28 a.m.	698,05	92,82	698,08	128,25	191,49	78,63	553,81	23,41
07:32:28 a.m.	698,33	92,79	695,94	127,92	191,14	78,76	552,44	23,41
07:37:28 a.m.	698,60	92,83	694,29	127,91	190,91	78,95	550,82	24,11
07:42:28 a.m.	698,93	93,10	692,55	127,80	190,53	79,37	549,98	24,32
07:47:28 a.m.	698,99	92,93	690,52	126,93	189,54	79,50	549,46	24,74
07:52:28 a.m.	699,01	92,59	690,45	125,87	188,96	79,16	547,73	24,93
07:57:28 a.m.	699,22	92,42	686,64	125,45	188,20	78,66	547,03	24,88
08:02:28 a.m.	699,37	92,21	684,59	124,93	187,66	78,32	545,94	25,07
08:07:28 a.m.	699,31	91,98	682,92	123,98	187,41	77,88	544,26	25,36
08:12:28 a.m.	699,53	91,83	681,39	123,79	186,86	77,35	542,94	25,37
08:17:28 a.m.	699,47	91,64	678,91	123,45	186,32	76,93	541,75	25,63
08:22:28 a.m.	699,53	91,52	677,42	123,11	185,88	76,43	540,20	25,85
08:27:28 a.m.	699,43	91,42	675,61	123,02	185,80	76,10	538,60	26,10
08:32:28 a.m.	699,53	91,54	673,79	123,17	185,51	76,24	537,44	25,98
08:37:28 a.m.	699,41	91,57	671,10	122,62	185,39	76,64	536,17	25,67
08:42:28 a.m.	699,33	91,32	669,56	122,11	185,00	76,89	534,95	25,98
08:47:28 a.m.	699,33	91,16	667,75	121,83	184,32	77,17	534,28	26,24

08:52:28 a.m.	699,31	90,90	665,44	121,34	184,20	77,39	532,36	26,28
08:57:28 a.m.	699,66	90,96	663,61	122,61	184,16	77,74	530,80	26,77
09:02:28 a.m.	699,71	91,12	661,16	124,19	183,79	78,16	529,19	26,89
09:07:28 a.m.	699,84	91,42	659,17	125,41	183,39	78,45	527,96	26,82
09:12:28 a.m.	699,72	91,57	657,95	126,30	183,21	78,79	526,57	26,91
09:17:28 a.m.	699,47	91,66	656,53	126,14	182,98	79,15	525,57	27,07
09:22:28 a.m.	699,20	91,72	654,16	126,26	182,74	79,48	524,52	27,56
09:27:28 a.m.	699,20	91,80	651,83	126,20	181,89	79,67	524,80	27,88
09:32:28 a.m.	698,79	91,38	650,45	125,41	181,56	79,45	522,99	27,58
09:37:28 a.m.	698,55	91,35	648,67	125,30	181,60	79,47	521,55	27,53
09:42:28 a.m.	698,11	91,31	646,83	125,26	181,20	79,65	520,47	27,84
09:47:28 a.m.	697,90	91,47	645,26	125,48	181,08	79,81	518,90	27,39
09:52:28 a.m.	697,60	91,50	643,54	125,86	180,84	79,96	517,43	28,25
09:57:28 a.m.	697,29	91,70	643,27	125,90	180,09	80,11	517,37	28,05
10:02:28 a.m.	696,58	91,37	642,74	124,36	179,76	80,02	516,10	28,36
10:07:28 a.m.	696,41	91,27	641,96	123,81	179,67	79,91	514,97	28,67
10:12:28 a.m.	695,84	91,14	640,67	123,91	179,71	79,94	513,17	28,33
10:17:28 a.m.	695,36	91,23	639,38	124,06	179,28	80,09	512,05	28,77
10:22:28 a.m.	694,77	91,27	637,84	123,80	179,01	80,30	510,74	28,75
10:27:28 a.m.	694,22	91,19	636,52	123,15	178,52	80,22	509,89	28,84
10:32:28 a.m.	693,63	91,19	635,11	122,49	178,10	80,17	508,88	28,57
10:37:28 a.m.	693,28	91,20	633,44	122,96	177,89	80,07	507,12	29,86
10:42:28 a.m.	692,68	91,37	630,94	123,49	177,65	80,08	505,56	29,54
10:47:28 a.m.	692,13	91,58	629,23	123,40	177,14	80,12	504,73	29,30
10:52:28 a.m.	691,43	91,67	627,93	122,93	176,77	80,11	503,62	29,67
10:57:28 a.m.	690,95	91,73	626,42	122,96	176,36	79,91	502,62	30,07
11:02:28 a.m.	690,31	91,79	624,41	123,50	175,71	79,60	501,37	30,45
11:07:28 a.m.	689,63	91,93	622,98	123,84	175,19	79,47	499,98	30,57
11:12:28 a.m.	688,93	92,06	620,62	123,51	174,88	79,46	499,07	30,55
11:17:28 a.m.	688,23	92,05	618,11	121,75	174,25	79,22	499,74	29,48
11:22:28 a.m.	687,45	91,66	616,07	121,10	173,87	78,80	497,69	30,07
11:27:28 a.m.	686,70	91,62	613,78	121,13	173,66	78,59	496,22	29,85
11:32:28 a.m.	685,97	91,59	612,14	121,23	173,22	78,45	495,31	30,19
11:37:28 a.m.	685,47	91,86	610,10	121,75	173,06	78,36	493,95	31,23
11:42:28 a.m.	684,92	92,17	608,08	122,52	172,88	78,27	492,26	31,15
11:47:28 a.m.	684,18	92,27	606,23	122,80	172,50	78,07	491,40	30,85
11:52:28 a.m.	683,36	92,41	604,44	122,87	172,03	77,92	490,10	30,10
11:57:28 a.m.	682,45	92,49	602,56	122,76	171,77	77,64	488,38	30,77
12:02:28 p.m.	681,62	92,41	600,58	122,71	171,36	77,50	486,80	30,38
12:07:28 p.m.	680,89	92,49	598,51	122,49	171,10	77,38	486,10	30,35
12:12:28 p.m.	680,36	92,63	597,09	122,90	171,07	77,41	484,49	30,21

12:17:28 p.m.	679,28	92,42	595,26	122,40	170,53	77,12	483,44	30,62
12:22:28 p.m.	678,31	92,36	593,20	121,95	170,24	77,02	482,08	30,59
12:27:28 p.m.	677,45	92,30	591,49	121,85	169,89	76,89	481,21	30,74
12:32:28 p.m.	676,71	92,18	589,65	121,86	169,67	76,75	479,32	30,20
12:37:28 p.m.	675,81	92,04	586,95	121,94	169,23	76,56	478,06	30,70
12:42:28 p.m.	674,87	91,92	584,83	121,36	169,03	76,46	477,73	30,11
12:47:28 p.m.	673,97	91,78	583,46	121,03	168,73	76,34	476,26	30,51
12:52:28 p.m.	671,99	91,63	581,65	118,95	167,92	76,06	474,76	30,39
12:57:28 p.m.	671,78	91,58	579,62	119,20	167,77	75,84	473,48	30,69
01:02:28 p.m.	670,97	91,33	577,54	119,19	167,59	75,64	472,61	31,16
01:07:28 p.m.	670,11	91,24	574,89	119,19	167,30	75,50	471,59	30,99
01:12:28 p.m.	669,33	91,08	572,95	119,25	166,97	75,48	470,44	31,13
01:17:28 p.m.	668,46	90,99	570,58	118,73	166,69	75,43	469,96	31,08
01:22:28 p.m.	667,84	90,95	567,61	118,29	166,55	75,53	469,05	30,26
01:27:28 p.m.	666,76	90,75	564,65	118,63	165,96	75,21	467,91	31,05
01:32:28 p.m.	665,89	90,66	561,63	118,87	165,63	74,99	466,23	30,52
01:37:28 p.m.	664,96	90,51	558,00	118,68	165,35	74,87	465,87	30,67
01:42:28 p.m.	664,05	90,29	555,25	119,22	165,05	74,72	464,09	30,20
01:47:28 p.m.	662,97	90,07	553,54	117,94	164,47	74,45	463,21	30,32
01:52:28 p.m.	662,09	89,81	550,73	117,43	164,15	74,33	462,66	31,10
01:57:28 p.m.	661,16	89,61	546,79	116,84	163,99	74,26	461,67	30,56
02:02:28 p.m.	660,04	89,45	544,65	116,48	163,53	74,10	460,78	31,20
02:07:28 p.m.	659,05	89,34	542,81	116,21	163,20	74,04	459,70	32,18
02:12:28 p.m.	658,15	89,38	540,73	116,06	162,96	74,07	459,04	31,67
02:17:29 p.m.	657,23	89,29	538,53	116,11	162,42	73,92	458,23	30,45
02:22:29 p.m.	656,29	89,30	536,22	115,90	162,10	73,79	457,41	31,27
02:27:29 p.m.	655,08	88,89	534,67	115,65	161,62	73,34	456,91	30,08
02:32:29 p.m.	654,10	88,53	532,64	114,87	161,24	73,08	456,07	30,03
02:37:29 p.m.	652,92	87,99	531,26	114,07	160,72	72,70	454,98	29,71
02:42:29 p.m.	651,78	87,65	529,58	113,25	160,28	72,37	454,27	28,87
02:47:29 p.m.	650,70	87,33	528,71	112,79	159,87	72,15	453,49	28,12
02:52:29 p.m.	633,85	87,06	525,37	112,17	159,41	71,73	453,00	28,27
02:57:29 p.m.	627,38	86,68	523,47	110,73	159,06	71,55	452,26	28,75
03:02:29 p.m.	626,07	86,13	522,30	108,93	158,53	71,23	452,05	28,26
03:07:29 p.m.	625,01	85,74	520,30	107,82	158,18	71,08	451,24	27,81
03:12:29 p.m.	624,02	85,37	517,72	106,98	157,88	70,71	450,83	27,20
03:17:29 p.m.	623,10	85,08	515,64	106,81	157,42	70,40	450,14	27,44
03:22:29 p.m.	622,14	84,86	513,79	106,97	156,87	70,06	449,28	27,09
03:27:29 p.m.	621,18	84,77	511,64	106,57	156,44	69,80	448,65	27,56
03:32:29 p.m.	620,01	84,56	509,13	105,06	156,32	69,68	448,08	27,35
03:37:29 p.m.	618,96	84,26	507,65	104,57	155,67	69,40	447,63	26,98

03:42:29 p.m.	617,97	84,14	504,93	104,53	155,19	69,11	446,78	27,10
03:47:29 p.m.	616,91	84,08	502,64	104,48	154,81	68,91	446,22	27,44
03:52:29 p.m.	616,03	84,16	500,21	104,32	154,29	68,85	446,34	26,90
03:57:29 p.m.	614,88	83,67	498,36	103,97	153,78	68,45	445,48	27,18
04:02:29 p.m.	613,67	83,48	495,52	103,48	153,15	68,15	445,36	27,45
04:07:29 p.m.	612,68	83,43	494,27	102,74	153,22	68,12	444,22	27,77
04:12:29 p.m.	611,49	83,25	491,78	101,97	153,01	67,94	443,81	27,53
04:17:29 p.m.	610,38	83,07	490,39	101,50	152,58	67,75	443,17	27,63
04:22:29 p.m.	588,05	82,89	488,38	101,45	151,96	67,49	446,05	27,58
04:27:29 p.m.	585,27	82,93	485,81	101,58	151,64	67,40	444,80	27,99
04:32:29 p.m.	584,05	82,91	483,49	101,92	151,11	67,14	443,85	27,06
04:37:29 p.m.	583,10	83,08	481,90	101,99	150,84	67,04	442,85	27,16
04:42:29 p.m.	582,20	83,17	479,09	101,82	150,45	66,81	442,13	26,85
04:47:29 p.m.	581,07	83,00	477,89	101,59	149,85	66,57	441,46	27,07
04:52:29 p.m.	580,15	82,90	476,85	101,24	149,53	66,38	440,81	26,94
04:57:29 p.m.	579,53	82,83	475,73	100,57	149,53	66,38	440,54	26,57
05:02:29 p.m.	578,08	82,29	473,08	100,08	148,78	65,95	439,44	26,30
05:07:29 p.m.	576,87	82,07	471,38	99,62	148,54	65,72	438,36	26,35
05:12:29 p.m.	575,90	82,02	468,75	99,65	148,02	65,58	437,44	26,21
05:17:29 p.m.	574,81	81,95	467,94	99,95	147,65	65,45	436,39	26,26
05:22:29 p.m.	573,91	82,00	466,22	100,16	147,27	65,36	435,74	26,14
05:27:29 p.m.	572,86	81,92	464,33	100,24	146,89	65,20	434,91	26,06
05:32:29 p.m.	571,83	81,84	462,36	100,39	146,55	65,05	433,89	25,88
05:37:29 p.m.	569,82	81,93	462,01	100,60	146,08	64,87	433,30	25,73
05:42:29 p.m.	567,55	82,09	460,36	100,82	145,63	64,64	432,50	25,05
05:47:29 p.m.	565,33	82,21	458,58	100,88	145,25	64,40	431,61	25,19
05:52:29 p.m.	563,18	82,33	457,24	101,07	144,78	64,15	431,12	25,16
05:57:29 p.m.	561,16	82,52	455,99	100,89	144,65	64,03	430,50	25,58
06:02:29 p.m.	558,79	82,55	454,78	100,32	144,50	63,80	429,85	25,20
06:07:29 p.m.	556,40	82,31	454,51	99,91	143,99	63,50	428,97	24,93
06:12:29 p.m.	554,18	82,27	453,50	100,01	143,71	63,32	428,13	24,85
06:17:29 p.m.	551,80	82,10	453,51	100,00	143,19	63,05	427,37	24,36
06:22:29 p.m.	549,62	82,01	451,76	100,08	142,90	62,89	426,59	24,55
06:27:29 p.m.	547,37	81,87	449,97	100,11	142,57	62,70	425,74	24,31
06:32:29 p.m.	544,99	81,64	448,85	100,31	142,08	62,52	424,90	25,82
06:37:29 p.m.	542,71	81,55	447,76	100,27	141,71	62,32	424,19	24,59
06:42:29 p.m.	540,53	81,36	446,54	100,00	141,49	62,16	423,43	24,29
06:47:29 p.m.	538,34	81,25	445,26	99,74	141,12	62,05	422,76	24,11
06:52:29 p.m.	535,95	81,07	442,84	99,06	140,86	61,93	422,09	23,98
06:57:29 p.m.	533,68	80,90	442,37	98,52	140,40	61,79	421,43	24,60
07:02:29 p.m.	531,32	80,67	441,31	98,24	140,13	61,57	420,60	23,75

07:07:29 p.m.	529,07	80,53	439,59	97,89	139,69	61,46	420,10	23,75
07:12:29 p.m.	528,03	80,03	438,23	96,91	139,39	61,26	419,19	24,70
07:17:29 p.m.	527,06	79,52	436,12	96,32	138,97	61,02	418,24	24,49
07:22:29 p.m.	525,02	79,20	434,62	96,23	138,50	60,76	417,60	23,80
07:27:29 p.m.	522,65	79,10	433,51	96,66	138,29	60,70	417,13	23,68
07:32:29 p.m.	520,25	78,80	432,41	96,90	137,87	60,50	416,30	23,73
07:37:29 p.m.	517,74	78,55	431,29	96,97	137,52	60,40	415,67	23,95
07:42:29 p.m.	515,25	78,30	429,91	97,00	137,15	60,26	414,95	24,15
07:47:29 p.m.	512,81	78,14	428,71	96,98	136,77	60,15	414,22	23,71
07:52:29 p.m.	510,42	77,96	427,71	96,63	136,46	60,04	413,71	23,90
07:57:29 p.m.	507,90	77,77	425,64	96,28	136,06	59,94	413,21	23,80
08:02:29 p.m.	505,45	77,67	423,95	96,07	135,82	59,94	412,66	24,15
08:07:29 p.m.	503,35	78,03	422,91	96,13	136,22	60,40	412,59	24,57
08:12:29 p.m.	500,39	77,39	421,72	95,29	135,60	59,88	411,62	23,89
08:17:29 p.m.	497,39	76,57	420,15	94,49	134,76	59,27	410,38	23,58
08:22:29 p.m.	494,64	76,21	419,45	94,18	134,34	59,06	409,70	23,34
08:27:29 p.m.	491,96	75,87	417,82	93,77	133,83	58,90	409,08	22,77
08:32:29 p.m.	489,31	75,77	416,59	93,59	133,57	58,89	408,47	23,46
08:37:29 p.m.	486,52	75,33	416,59	93,31	132,90	58,51	407,58	23,16
08:42:29 p.m.	483,83	75,10	415,08	93,32	132,51	58,23	406,65	22,62
08:47:29 p.m.	481,21	74,96	413,98	93,61	132,17	58,11	406,00	22,63
08:52:29 p.m.	478,54	74,76	412,11	93,79	131,65	57,90	405,22	22,34
08:57:29 p.m.	475,91	74,65	411,08	93,90	131,31	57,75	404,57	22,65
09:02:29 p.m.	473,36	74,57	410,24	94,00	130,88	57,57	403,89	22,16
09:07:29 p.m.	470,68	74,40	409,57	93,97	130,53	57,41	403,19	22,22
09:12:29 p.m.	468,13	74,21	407,36	94,00	130,28	57,28	402,52	22,29
09:17:29 p.m.	465,63	73,96	406,00	94,08	129,92	57,18	401,89	22,39
09:22:29 p.m.	462,99	73,66	404,35	94,07	129,52	57,02	401,24	22,35
09:27:29 p.m.	460,40	73,35	402,83	94,02	129,08	56,83	400,48	22,23
09:32:29 p.m.	457,90	73,07	401,80	93,89	128,82	56,67	399,68	22,21
09:37:29 p.m.	455,42	72,78	401,78	93,72	128,36	56,58	399,03	22,06
09:42:29 p.m.	452,70	72,66	401,32	93,21	128,15	56,68	399,08	22,61
09:47:29 p.m.	449,47	71,99	399,34	92,09	127,54	56,18	398,25	21,97
09:52:29 p.m.	446,80	71,56	398,63	91,80	127,03	55,90	397,39	21,67
09:57:29 p.m.	444,24	71,44	395,56	91,84	126,63	55,73	396,65	21,86
10:02:29 p.m.	441,56	71,28	395,28	91,76	126,30	55,57	395,93	21,60
10:07:29 p.m.	439,08	71,13	394,24	91,73	126,00	55,45	395,25	21,55
10:12:29 p.m.	436,41	70,96	393,01	91,73	125,53	55,27	394,48	21,95
10:17:29 p.m.	433,74	70,83	391,16	91,67	125,12	55,17	393,91	21,89
10:22:29 p.m.	431,15	70,65	390,23	91,51	124,92	55,10	393,24	21,76
10:27:29 p.m.	428,56	70,48	389,10	91,43	124,45	55,03	392,59	21,76

10:32:29 p.m.	425,89	70,32	387,79	91,40	124,04	54,87	391,96	22,03
10:37:29 p.m.	423,42	70,11	386,77	91,47	123,77	54,78	391,17	22,48
10:42:29 p.m.	420,95	69,91	385,87	91,22	123,50	54,68	390,40	22,46
10:47:29 p.m.	418,26	69,71	384,85	90,78	123,08	54,59	389,84	22,36
10:52:29 p.m.	415,60	69,51	383,47	90,60	122,63	54,50	389,19	22,37
10:57:29 p.m.	413,15	69,37	382,26	90,41	122,38	54,45	388,49	22,18
11:02:29 p.m.	410,60	69,21	380,86	90,08	122,06	54,40	387,92	22,69
11:07:29 p.m.	407,81	68,90	379,95	89,56	121,62	54,22	387,23	22,79
11:12:29 p.m.	405,03	68,61	378,34	89,01	121,29	54,10	386,60	22,79
11:17:29 p.m.	402,33	68,32	377,29	88,71	120,84	53,92	385,89	22,34
11:22:29 p.m.	399,70	68,11	376,21	88,38	120,52	53,86	385,20	22,49
11:27:29 p.m.	397,12	67,90	375,16	88,30	120,08	53,73	384,46	22,35
11:32:29 p.m.	394,75	67,74	373,44	88,35	119,78	53,64	383,73	22,40
11:37:29 p.m.	392,07	67,52	372,73	88,11	119,30	53,51	383,10	22,50
11:42:29 p.m.	389,68	67,28	371,87	88,07	119,03	53,40	382,37	22,52
11:47:29 p.m.	387,33	67,07	371,27	88,08	118,62	53,30	381,63	22,55
11:52:29 p.m.	384,77	66,89	370,52	87,90	118,16	53,17	380,94	22,42
11:57:29 p.m.	382,20	66,74	369,13	87,73	117,76	53,06	380,37	22,65
12:02:29 a.m.	379,62	66,51	368,11	87,30	117,41	52,87	379,69	22,29
12:07:29 a.m.	377,13	66,21	366,95	86,91	117,13	52,69	378,76	22,35
12:12:29 a.m.	374,78	66,03	365,81	86,85	116,66	52,59	378,19	22,31
12:17:29 a.m.	372,29	65,87	363,91	86,65	116,23	52,50	377,49	22,24
12:22:29 a.m.	369,87	65,85	362,80	86,40	116,17	52,60	377,23	22,73
12:27:29 a.m.	367,12	65,38	361,44	85,51	115,69	52,28	376,51	22,41
12:32:29 a.m.	364,57	65,03	360,59	84,92	115,39	52,14	375,64	22,17
12:37:29 a.m.	362,41	64,83	359,37	85,03	114,97	52,11	374,81	22,44
12:42:29 a.m.	360,41	64,67	358,24	85,28	114,50	52,00	374,01	22,80
12:47:29 a.m.	358,14	64,52	357,43	85,32	114,13	51,85	373,19	22,25
12:52:29 a.m.	355,97	64,31	356,51	85,37	113,71	51,72	372,49	22,48
12:57:29 a.m.	353,70	64,06	355,32	85,30	113,37	51,56	371,74	22,28
01:02:29 a.m.	351,63	63,89	354,25	85,16	113,05	51,47	371,12	22,36
01:07:29 a.m.	349,21	63,61	352,97	84,67	112,55	51,31	370,62	22,05
01:12:29 a.m.	346,83	63,36	351,98	84,01	112,21	51,16	370,18	22,36
01:17:30 a.m.	344,33	63,00	351,02	83,12	111,86	51,00	369,79	21,98
01:22:30 a.m.	342,03	62,69	349,88	82,78	111,52	50,84	368,83	22,42
01:27:30 a.m.	339,89	62,52	348,98	82,45	111,23	50,72	368,22	22,22
01:32:30 a.m.	337,54	62,37	347,73	81,82	111,05	50,74	367,87	22,26
01:37:30 a.m.	334,91	61,85	346,54	81,19	110,57	50,46	366,97	21,89
01:42:30 a.m.	333,05	61,72	345,38	81,39	110,27	50,42	366,12	22,92
01:47:30 a.m.	331,01	61,55	344,20	81,53	109,78	50,23	365,24	22,52
01:52:30 a.m.	328,73	61,31	343,42	81,27	109,41	50,04	364,53	21,76

01:57:30 a.m.	326,66	61,07	342,32	81,10	109,01	49,95	363,78	22,17
02:02:30 a.m.	324,51	60,83	341,35	81,13	108,59	49,82	363,00	21,55
02:07:30 a.m.	322,51	60,64	340,66	81,16	108,08	49,62	362,25	21,31
02:12:30 a.m.	320,51	60,47	340,03	80,99	107,78	49,51	361,64	21,17
02:17:30 a.m.	318,39	60,26	339,04	80,82	107,31	49,33	360,94	20,35
02:22:30 a.m.	316,36	60,12	338,20	80,61	107,00	49,26	360,32	20,70
02:27:30 a.m.	314,31	59,91	337,11	80,35	106,67	49,13	359,65	20,84
02:32:30 a.m.	312,42	59,78	335,75	80,14	106,40	49,08	359,04	20,79
02:37:30 a.m.	310,33	59,55	335,10	79,86	105,92	48,90	358,24	20,79
02:42:30 a.m.	308,17	59,42	333,85	79,54	105,61	48,84	357,75	21,16
02:47:30 a.m.	306,11	59,20	332,84	79,30	105,26	48,70	357,11	21,13
02:52:30 a.m.	304,21	59,03	331,67	79,21	105,01	48,62	356,41	20,85
02:57:30 a.m.	302,25	58,79	330,74	79,02	104,64	48,50	355,63	20,48
03:02:30 a.m.	300,25	58,65	329,83	78,85	104,20	48,39	354,81	20,57
03:07:30 a.m.	298,16	58,44	328,39	78,44	103,79	48,23	354,35	20,83
03:12:30 a.m.	296,23	58,23	327,34	78,20	103,53	48,12	353,60	20,60
03:17:30 a.m.	294,26	58,00	326,42	78,11	103,08	47,98	352,91	20,19
03:22:30 a.m.	292,51	57,84	325,26	78,20	102,75	47,91	352,28	20,73
03:27:30 a.m.	290,65	57,61	323,92	78,05	102,33	47,73	351,50	20,53
03:32:30 a.m.	288,80	57,49	322,98	77,88	101,92	47,59	350,83	20,55
03:37:30 a.m.	286,85	57,28	322,08	77,65	101,48	47,39	350,11	20,06
03:42:30 a.m.	285,01	57,10	321,12	77,53	101,18	47,21	349,43	20,25
03:47:30 a.m.	283,27	56,90	319,78	77,29	100,89	47,07	348,62	20,18
03:52:30 a.m.	281,48	56,76	318,67	77,05	100,46	46,95	348,04	20,52
03:57:30 a.m.	279,88	56,61	317,80	76,85	100,33	46,90	347,34	20,67
04:02:30 a.m.	277,96	56,39	317,13	76,61	99,84	46,74	346,67	20,00
04:07:30 a.m.	276,08	56,20	315,76	76,37	99,45	46,61	346,02	20,39
04:12:30 a.m.	274,41	56,03	314,66	76,25	99,11	46,45	345,22	20,33
04:17:30 a.m.	272,75	55,83	313,59	76,09	98,81	46,32	344,50	20,40
04:22:30 a.m.	270,96	55,68	312,50	75,80	98,34	46,18	343,81	20,11
04:27:30 a.m.	269,12	55,50	311,37	75,37	97,98	46,00	343,15	20,28
04:32:30 a.m.	267,40	55,32	310,31	75,12	97,66	45,84	342,37	20,19
04:37:30 a.m.	265,85	55,17	309,51	74,98	97,36	45,75	341,66	20,82
04:42:30 a.m.	264,33	55,03	308,45	74,99	96,99	45,66	340,83	20,78
04:47:30 a.m.	262,64	54,90	307,44	74,71	96,59	45,50	340,16	20,53
04:52:30 a.m.	260,80	54,71	306,60	74,16	96,31	45,38	339,44	20,19
04:57:30 a.m.	259,22	54,57	305,75	73,96	95,92	45,23	338,61	20,13
05:02:30 a.m.	257,79	54,43	304,76	73,85	95,71	45,18	337,99	20,75
05:07:30 a.m.	256,25	54,28	303,79	73,64	95,47	45,09	337,29	20,45
05:12:30 a.m.	254,53	54,16	302,88	73,37	95,05	45,04	336,55	21,06
05:17:30 a.m.	252,77	54,03	302,00	73,06	94,63	44,94	335,86	20,49

05:22:30 a.m.	251,17	53,90	301,12	72,92	94,30	44,84	335,12	20,66
05:27:30 a.m.	249,99	53,79	300,29	72,90	94,03	44,71	334,31	21,07
05:32:30 a.m.	248,48	53,63	299,35	72,84	93,73	44,62	333,52	21,19
05:37:30 a.m.	246,92	53,48	298,28	72,63	93,35	44,51	332,77	20,64
05:42:30 a.m.	245,32	53,30	297,46	72,28	92,97	44,38	331,95	20,59
05:47:30 a.m.	243,98	53,15	296,62	72,17	92,70	44,27	331,34	20,60
05:52:30 a.m.	242,54	52,99	295,74	72,07	92,44	44,18	330,51	20,74
05:57:30 a.m.	241,09	52,85	294,96	71,92	92,03	44,06	329,63	21,30
06:02:30 a.m.	239,47	52,69	294,16	71,56	91,71	43,88	328,86	20,56
06:07:30 a.m.	237,74	52,47	292,91	71,05	91,41	43,76	328,31	20,61
06:12:30 a.m.	235,91	52,24	292,05	70,58	91,22	43,75	327,92	21,05
06:17:30 a.m.	233,95	51,80	290,85	69,97	90,97	43,61	327,10	21,03
06:22:30 a.m.	232,58	51,59	289,73	69,69	90,64	43,55	326,05	21,16
06:27:30 a.m.	231,19	51,43	288,87	69,45	90,30	43,47	325,31	21,19
06:32:30 a.m.	229,65	51,29	288,31	69,26	90,00	43,45	324,71	21,26
06:37:30 a.m.	228,00	51,05	287,55	68,87	89,77	43,39	324,10	21,44
06:42:30 a.m.	226,32	50,76	286,63	68,51	89,47	43,32	323,29	21,45
06:47:30 a.m.	225,02	50,60	285,84	68,28	89,20	43,27	322,46	21,59
06:52:30 a.m.	223,66	50,54	285,00	68,18	88,85	43,22	321,55	21,71
06:57:30 a.m.	222,52	50,59	284,01	68,35	88,54	43,22	320,79	22,62
07:02:30 a.m.	221,09	50,63	283,11	68,21	88,23	43,07	319,98	21,68
07:07:30 a.m.	219,63	50,48	282,13	67,68	87,95	42,98	319,31	21,80
07:12:30 a.m.	218,14	50,30	281,10	67,22	87,68	42,94	318,58	21,84
07:17:30 a.m.	216,63	50,14	280,52	66,98	87,33	42,90	317,77	22,14
07:22:30 a.m.	215,40	50,07	279,51	66,77	87,09	42,89	316,96	22,06
07:27:30 a.m.	214,07	50,01	278,70	66,52	86,83	42,90	316,31	22,20
07:32:30 a.m.	212,85	50,01	277,74	66,43	86,56	42,95	315,45	22,37
07:37:30 a.m.	211,26	49,97	276,60	66,32	86,14	42,97	315,02	22,25
07:42:30 a.m.	209,73	49,87	275,89	66,15	85,86	42,92	314,39	22,54
07:47:30 a.m.	208,00	49,72	274,89	65,75	85,72	42,92	313,76	22,62
07:52:30 a.m.	206,36	49,55	273,76	65,48	85,50	42,98	312,88	22,68
07:57:30 a.m.	205,43	49,69	272,93	65,64	85,40	43,22	312,04	23,41
08:02:30 a.m.	204,09	49,72	272,14	65,61	85,05	43,28	311,10	23,59
08:07:30 a.m.	203,07	49,85	271,37	65,71	84,70	43,41	310,31	23,42
08:12:30 a.m.	201,64	49,80	270,49	65,53	84,26	43,28	309,49	23,39
08:17:30 a.m.	200,36	49,75	269,52	65,27	83,86	43,19	308,81	23,49
08:22:30 a.m.	199,11	49,66	268,57	65,02	83,59	43,10	308,14	23,49
08:27:30 a.m.	197,58	49,55	267,66	64,76	83,32	43,12	307,88	23,26
08:32:30 a.m.	196,07	49,35	267,02	64,51	83,04	42,96	306,82	23,85
08:37:30 a.m.	194,71	49,27	266,04	64,40	82,86	42,97	306,03	23,70
08:42:30 a.m.	193,28	49,22	265,30	64,19	82,85	43,10	305,52	23,74

08:47:30 a.m.	191,87	49,14	264,55	64,08	82,57	43,22	304,71	23,81
08:52:30 a.m.	190,50	48,95	263,52	63,94	82,22	43,24	303,97	24,26
08:57:30 a.m.	189,16	49,08	262,63	63,98	82,03	43,56	303,97	24,47
09:02:30 a.m.	187,20	48,72	261,64	63,22	81,76	43,43	302,98	24,37
09:07:30 a.m.	185,60	48,56	260,74	62,81	81,79	43,56	301,99	24,64
09:12:30 a.m.	184,25	48,58	260,03	62,65	81,65	43,81	301,27	24,63
09:17:30 a.m.	182,70	48,48	259,53	62,53	81,36	44,03	300,46	24,96
09:22:30 a.m.	181,45	48,58	258,80	62,48	81,07	44,20	299,44	24,93
09:27:30 a.m.	180,02	48,50	257,72	62,36	80,82	44,33	298,61	25,39
09:32:30 a.m.	178,89	48,63	256,75	62,53	80,52	44,61	297,92	24,95
09:37:30 a.m.	177,49	48,68	256,22	62,47	80,27	44,78	297,41	25,40
09:42:30 a.m.	175,97	48,46	255,19	62,30	80,01	44,81	296,37	25,75
09:47:30 a.m.	174,84	48,66	254,47	62,43	79,93	45,14	295,60	25,81
09:52:30 a.m.	173,55	48,82	253,76	62,37	79,48	45,31	295,48	25,40
09:57:30 a.m.	172,04	48,63	252,90	62,06	79,27	45,16	294,46	26,06
10:02:30 a.m.	170,79	48,62	251,99	61,85	78,90	45,15	293,62	25,60
10:07:30 a.m.	169,29	48,48	251,00	61,60	78,52	45,05	292,72	25,81
10:12:30 a.m.	168,13	48,51	250,24	61,57	78,22	45,06	291,79	25,91
10:17:30 a.m.	167,15	48,49	249,53	61,66	78,02	45,01	290,50	25,91
10:22:30 a.m.	166,22	48,64	248,82	61,95	77,87	45,01	289,72	26,61
10:27:30 a.m.	165,33	48,82	247,73	62,25	77,71	45,13	288,78	26,16
10:32:30 a.m.	164,28	48,89	247,21	62,26	77,28	45,10	287,80	26,44
10:37:30 a.m.	163,32	49,00	246,58	62,34	77,08	45,14	287,36	27,21
10:42:30 a.m.	162,69	49,26	245,66	62,57	77,09	45,36	286,46	27,54
10:47:30 a.m.	161,48	49,10	245,21	62,26	76,32	45,16	285,35	26,76
10:52:30 a.m.	160,41	48,98	244,01	61,94	75,92	44,93	284,62	26,53
10:57:30 a.m.	159,58	48,97	243,44	61,82	75,79	44,83	283,82	26,15
11:02:30 a.m.	158,38	48,72	242,80	61,49	75,34	44,56	283,14	26,03
11:07:30 a.m.	157,04	48,51	242,21	61,19	75,07	44,39	282,47	26,18
11:12:30 a.m.	156,05	48,49	241,46	61,04	75,01	44,35	281,80	25,98
11:17:30 a.m.	149,81	48,35	240,75	60,96	74,78	44,13	273,67	26,31
11:22:30 a.m.	142,81	48,32	239,94	60,88	74,49	44,08	260,62	26,34
11:27:30 a.m.	141,33	48,83	239,00	61,20	75,13	44,55	255,04	27,59
11:32:30 a.m.	140,08	48,79	238,20	61,18	74,78	44,53	256,21	27,37