

Anexos

Anexo 1: Comparativa entre tipos de tratamientos de residuos peligrosos

Anexo 2: Propiedades de la atmósfera a gran altitud

Anexo 3: Entalpía del aire y el vapor de agua

Anexo 4: Cálculo de los números de Rayleigh y Prandtl para convección libre.

Anexo 5: Parámetros para flujo interno de mezcla gaseosa a 800°C

Anexo 6: Cotización de ladrillos k-23 y k-26

Anexo 7: Cotización de acero ASTM A285 Gr. C

Anexo 8: Cotización de quemadores

Anexo 9: Cotización de lana de roca de 100 kg/m^3 de densidad

Anexo 1: Comparativa entre tipos de tratamientos de residuos peligrosos

Incineración:

- Definición: Proceso de oxidación química en el cual se le aporta energía al residuo hasta llegar a su punto de auto-ignición. Posteriormente el cuerpo se consume quedando solo cenizas.

El procedimiento incluye exposición a altas temperaturas (superior a 800°C) con el fin de esterilizar las cenizas.

- Ventajas:

Los residuos se hacen irreconocibles y no reciclables para sus usos originales

Se pueden reutilizar en la fabricación de ladrillos de construcción.

Reduce volumen en un 90%.

No requiere acondicionamiento de residuos.

Destrucción total de patógenos si se opera a las temperaturas mencionadas por la norma y durante el tiempo recomendado.

Pueden ser móviles

Alta eficiencia si se le implementa un sistema de recuperación de calor.

- Desventajas:

Se generan emisiones que son expulsadas al ambiente. La peligrosidad de dichas emisiones depende de la adecuada selección de un filtro y lavado de gases, a su vez, del programa de mantenimiento que estos tengan.

Riesgos en la operación: En la supervisión del proceso, hay riesgo de quemarse si se entra en contacto con la superficie.

Se requiere personal entrenado y capacitado para el manejo de residuos y para la operación del incinerador.

Se producen altos costos de operación (combustible) y mantenimiento.

Esterilización a vapor:

- Definición: Proceso que utiliza vapor saturado el cual es insertado en una cámara a presión.

La alta temperatura de la cámara y el tiempo de exposición son los parámetros fundamentales que determinan la eficacia de este tratamiento.

Uno de los ejemplos más conocidos y aplicado en la industria se conoce como autoclave. A continuación, las ventajas y desventajas de la aplicación de este método.

- Ventajas:

Reduce el volumen en 40% y triturándolo se reduce en un 70%

Destrucción total de patógenos si se siguen los parámetros adecuados (temperatura y tiempos).

No requiere acondicionado previo

El autoclave representa un bajo costo de inversión, operación y mantenimiento si es que ya se cuenta con línea de vapor o casa fuerza.

Tiene efluentes estériles

Fácil operación

- Desventaja:

Requiere red de vapor preexistente o energía eléctrica disponible para las calderas eléctricas incorporadas en los modelos autónomos.

Requiere tratamiento posterior para hacer irreconocibles los desechos.

Existe riesgo de quemadura en caso de mala operación.

Puede producir malos olores y genera aerosoles.

Desinfección Microondas:

- Definición: Se trata de tratamiento en el cual los residuos se desinfectan mediante la aplicación de radiación electromagnética a determinada longitud de onda y frecuencia característica, la cual ha sido calibrada específicamente para afectar a las moléculas de agua.

Al inicio del proceso, se inyecta vapor de agua a los residuos. Se enciende la máquina. Posteriormente, al llegar la radiación al vapor de agua, se produce

fricción entre las moléculas, elevando su temperatura. Luego de un determinado tiempo de aplicación, se habrá eliminado gran parte de los patógenos.

- Ventajas:

Reduce en un 60% el volumen.

Se puede tratar residuos comunes y biocontaminados.

No existen efluentes ni emisiones peligrosas.

Producto final irreconocible.

Olor y ruido muy bajos.

- Desventajas:

Requiere trituración previa al proceso.

Alto costo de inversión y mantenimiento.

Las temperaturas no eliminan TODOS los patógenos.

Alto costo de operación: 60kW cada 100kg/hr. En nuestro caso consumiría 390 kW al día

Relleno Sanitario:

- Definición: Es un área la cuál es usada para depositar los residuos generados por las grandes ciudades o regiones. En estos lugares, se deja que la misma naturaleza degrade los residuos con el pasar del tiempo.

Debido a la naturaleza de la descomposición, se debe tomar en cuenta la emisión de gases y la acumulación de lixiviados (líquidos resultantes de la percolación de sustancia y sólidos poroso).

- Ventajas:

Bajo costo

Genera emisiones de biogás que pueden ser utilizados en la generación de energía como se hace con el gas metano.

El terreno ocupado por el vertedero es recuperable.

Acepta todo tipo de residuos.

- Desventajas:

Proliferación de fauna relativa a la contaminación, es decir, ratas, vectores, entre otros.

Malos olores.

Impacto visual negativo.

Necesita de un gran espacio que satisfaga los requerimientos de ubicación. En este punto se considera el nivel de la capa freática, la distancia a los centros poblados y la humedad de la zona.

Requiere constante control para evitar malas prácticas como el depósito irresponsable de basura.

Requiere gran cantidad de chimeneas con el fin de expulsar los gases generados.

Los lixiviados requieren un cuidado especial para que no lleguen a contaminar las aguas subterráneas.

Esterilización por irradiación con haz de electrones:

- Definición: Se aplica a los residuos un flujo de electrones los cuales han sido previamente acelerados por un campo eléctrico de alto voltaje. Como consecuencia, se desestabilizan los electrones de los cuerpos en contacto, dándose así una disociación química con la cual se rompe la pared celular de los microorganismos.

- Ventajas:

Destrucción total de patógenos.

Se puede tratar todo tipo de residuos.

No genera gases de combustión.

- Desventajas:

No reduce el volumen de los residuos.

Se tiene formación de ozono durante la operación del equipo.

Se requiere personal capacitado para la operación y mantenimiento del equipo.

Existe bajo riesgo de radiación.

Alto costo de inversión, de operación y de mantenimiento.

Tratamiento químico:

- Definición: Se trata de un procedimiento en donde se sumerge los residuos en solución de Cloro al 15% de concentración. Se deja actuar aproximadamente unos 20 minutos, luego se escurre y se procede a enterrarlos en una fosa.

- Ventajas:

Destrucción de los agentes patógenos.

Se pueden tratar residuos: comunes y biocontaminados.

Tecnología útil para establecimiento de salud cuya función sea de apoyo pues el tamaño requerido y la inversión son bajas.

- Desventajas:

Efluentes con soluciones químicas activas tóxicas.

Riesgos en la operación, se puede provocar emisiones gaseosas con soluciones químicas impregnadas.

Es necesario acondicionar los residuos.

Se requiere tiempo de contacto entre el residuo y la solución química.

Capacidad limitada al recipiente contenedor de los residuos y a la cantidad de recipientes que se puedan manejar simultáneamente.

Anexo 2: Propiedades de la atmósfera a gran altitud

Propiedades de la atmósfera a gran altitud

Altitud, m	Temperatura, °C	Presión, kPa	Gravedad g, m/s ²	Velocidad del sonido, m/s	Densidad, kg/m ³	Viscosidad μ , kg/m · s	Conductividad térmica, W/m · K
0	15.00	101.33	9.807	340.3	1.225	1.789×10^{-5}	0.0253
200	13.70	98.95	9.806	339.5	1.202	1.783×10^{-5}	0.0252
400	12.40	96.61	9.805	338.8	1.179	1.777×10^{-5}	0.0252
600	11.10	94.32	9.805	338.0	1.156	1.771×10^{-5}	0.0251
800	9.80	92.08	9.804	337.2	1.134	1.764×10^{-5}	0.0250
1000	8.50	89.88	9.804	336.4	1.112	1.758×10^{-5}	0.0249
1200	7.20	87.72	9.803	335.7	1.090	1.752×10^{-5}	0.0248
1400	5.90	85.60	9.802	334.9	1.069	1.745×10^{-5}	0.0247
1600	4.60	83.53	9.802	334.1	1.048	1.739×10^{-5}	0.0245
1800	3.30	81.49	9.801	333.3	1.027	1.732×10^{-5}	0.0244
2000	2.00	79.50	9.800	332.5	1.007	1.726×10^{-5}	0.0243
2200	0.70	77.55	9.800	331.7	0.987	1.720×10^{-5}	0.0242
2400	-0.59	75.63	9.799	331.0	0.967	1.713×10^{-5}	0.0241
2600	-1.89	73.76	9.799	330.2	0.947	1.707×10^{-5}	0.0240
2800	-3.19	71.92	9.798	329.4	0.928	1.700×10^{-5}	0.0239
3000	-4.49	70.12	9.797	328.6	0.909	1.694×10^{-5}	0.0238
3200	-5.79	68.36	9.797	327.8	0.891	1.687×10^{-5}	0.0237
3400	-7.09	66.63	9.796	327.0	0.872	1.681×10^{-5}	0.0236
3600	-8.39	64.94	9.796	326.2	0.854	1.674×10^{-5}	0.0235
3800	-9.69	63.28	9.795	325.4	0.837	1.668×10^{-5}	0.0234
4000	-10.98	61.66	9.794	324.6	0.819	1.661×10^{-5}	0.0233
4200	-12.3	60.07	9.794	323.8	0.802	1.655×10^{-5}	0.0232
4400	-13.6	58.52	9.793	323.0	0.785	1.648×10^{-5}	0.0231
4600	-14.9	57.00	9.793	322.2	0.769	1.642×10^{-5}	0.0230
4800	-16.2	55.51	9.792	321.4	0.752	1.635×10^{-5}	0.0229
5000	-17.5	54.05	9.791	320.5	0.736	1.628×10^{-5}	0.0228
5200	-18.8	52.62	9.791	319.7	0.721	1.622×10^{-5}	0.0227
5400	-20.1	51.23	9.790	318.9	0.705	1.615×10^{-5}	0.0226
5600	-21.4	49.86	9.789	318.1	0.690	1.608×10^{-5}	0.0224
5800	-22.7	48.52	9.785	317.3	0.675	1.602×10^{-5}	0.0223
6000	-24.0	47.22	9.788	316.5	0.660	1.595×10^{-5}	0.0222
6200	-25.3	45.94	9.788	315.6	0.646	1.588×10^{-5}	0.0221
6400	-26.6	44.69	9.787	314.8	0.631	1.582×10^{-5}	0.0220
6600	-27.9	43.47	9.786	314.0	0.617	1.575×10^{-5}	0.0219
6800	-29.2	42.27	9.785	313.1	0.604	1.568×10^{-5}	0.0218
7000	-30.5	41.11	9.785	312.3	0.590	1.561×10^{-5}	0.0217
8000	-36.9	35.65	9.782	308.1	0.526	1.527×10^{-5}	0.0212
9000	-43.4	30.80	9.779	303.8	0.467	1.493×10^{-5}	0.0206
10,000	-49.9	26.50	9.776	299.5	0.414	1.458×10^{-5}	0.0201
12,000	-56.5	19.40	9.770	295.1	0.312	1.422×10^{-5}	0.0195
14,000	-56.5	14.17	9.764	295.1	0.228	1.422×10^{-5}	0.0195
16,000	-56.5	10.53	9.758	295.1	0.166	1.422×10^{-5}	0.0195
18,000	-56.5	7.57	9.751	295.1	0.122	1.422×10^{-5}	0.0195

Fuente: U.S. Standard Atmosphere Supplements. Oficina de Impresiones del Gobierno de Estados Unidos, 1966. Basadas en las condiciones medias anuales a una latitud de 45° y una variación de acuerdo con la época del año y con los patrones del clima. Las condiciones al nivel del mar (z = 0) se consideran como P = 101.325 kPa, T = 15°C, $\rho = 1.2250 \text{ kg/m}^3$, $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$.

Anexo 3: Tabla de entalpías para el aire seco y para agua

Los siguientes valores fueron calculados mediante interpolación lineal a partir de la página 4.3 y 4.4 del libro Handbook of Incineration Systems escrito por Brunner.

El cálculo de la energía considera las masas halladas en el balance másico para la primera cámara, es decir 4939.4 kg de gas y 444.4 kg de vapor de agua.

Tabla A3-1. Tabla de entalpías para el aire seco y para agua

Celsius	kJ/kg de aire	kJ/kg de H ₂ O	GJ
510.00	509.06	3420.88	7.74
537.78	539.55	3480.66	7.90
565.56	570.23	3541.10	8.05
593.33	601.07	3601.38	8.21
621.11	626.29	3662.98	8.36
648.89	663.27	3724.43	8.53
676.67	694.60	3787.26	8.69
704.44	726.10	3849.80	8.85
732.22	757.75	3912.68	9.02
735.69	761.73	3920.72	9.04
737.43	763.72	3924.75	9.05
739.17	765.71	3928.77	9.06
746.11	773.66	3944.86	9.10
760.00	789.57	3977.03	9.18
787.78	821.54	4041.89	9.35
815.56	853.58	4106.59	9.52
871.11	918.19	4238.24	9.86
926.67	983.17	4373.12	10.21
982.22	1048.67	4507.82	10.55
1037.78	1114.56	4646.03	10.91
1093.33	1180.88	4785.55	11.27
1148.89	1247.47	4928.10	11.63
1204.44	1314.46	5069.67	12.00
1260.00	1381.77	5216.29	12.37
1315.56	1449.35	5362.16	12.74
1371.11	1517.25	5507.50	13.12
1426.67	1585.44	5659.86	13.50
1482.22	1653.84	5819.28	13.91

Anexo 4: Cálculo del coeficiente convectivo exterior para convección libre

La convección libre se origina a partir del movimiento del fluido a causa de las diferentes fuerzas de empuje entre el fluido que está en contacto con la superficie y el fluido del ambiente.

El efecto que causa la diferencia de fuerzas de empuje es la variación de la densidad del fluido. El fluido que estará más cerca a la superficie, estará más caliente y por lo tanto su densidad será menor, luego, este será reemplazado por fluido del ambiente que está más frío, es decir, con densidad mayor. El ciclo continuará y se hará más lento cada vez que el gradiente de temperaturas entre el incinerador y el medio ambiente sea menor.

El indicador de cuánta energía es transferida por unidad de área y gradiente de temperatura es el coeficiente convectivo exterior (h_{cext}), el cual se asumirá constante mientras la temperatura interior del incinerador sea constante.

Para el cálculo de h_{cext} se usará correlaciones experimentales. Estas dependen de dos números adimensionales conocidos como Número de Rayleigh y Número de Prandtl. Este anexo explica como se hallarán estos números y qué suposiciones se tomaron en cuenta.

En primer lugar, las operaciones de trabajo son: 3300 metros de altura sobre el nivel del mar (68.3 kPa de presión atmosférica) y temperatura ambiental asumida constante a 20°C.

Luego, considerando el aire atmosférico como gas ideal, se aplica la ecuación de estado para hallar la densidad. La temperatura a ingresar en la ecuación es la que pertenece a la película de fluido que está en contacto directo con la superficie del incinerador. Esta se halla a partir de la temperatura superficial del equipo y la temperatura ambiental.

$$T_{Película} = \frac{(T_{Sup} + T_{Amb})}{2}$$

Así, todo depende de la temperatura superficial; sin embargo, esto está ligado a los espesores de aislamiento y refractario seleccionado que a su vez influyen en la magnitud del flujo de calor que sale hacia el ambiente. Finalmente, el flujo de calor hacia el ambiente define la temperatura superficial convirtiendo el efecto en un ciclo enteramente dependiente.

Como consecuencia, se trata de un proceso iterativo en el que se asumirá cierta temperatura superficial para hallar un coeficiente convectivo exterior el cual será usado en el cálculo del flujo de calor hacia el ambiente. El cálculo termina cuando la temperatura superficial, efecto del flujo de calor, sea igual a la asumida inicialmente.

En segundo lugar, el efecto de las fuerzas viscosas está presente en convección libre. Por lo tanto se debe tomar en cuenta su variación debido a la presión atmosférica.

$$\frac{\nu}{\nu_0} = \frac{p_0}{p'} \quad p_0 := 1 \text{ atm} \quad p' := 68 \text{ kPa}$$

ν_0 representa la viscosidad cinemática a la presión atmosférica estandar y a la temperatura de película mientras que ν es la viscosidad a la presión deseada a la misma temperatura.

$$\nu_0 = \frac{\mu_{Amb}}{\rho_{amb}}$$

$$\nu = \frac{p_0}{p'} \cdot \nu_0$$

A continuación, se mostrará distintas densidades para varias temperaturas de película y sus correspondientes viscosidades cinemáticas.

Tabla A4-1 Cálculo de viscosidad cinemática para diferente presión

Temp. Superficial (°C)	Temp. de película (K)	Densidad (P=68 kPa)	Viscosidad (P=1 atm)	Viscosidad (P=68 kPa)
34	300	0.792	1.569E-05	2.33E-05
44	305	0.779	1.616E-05	2.40E-05
54	310	0.766	1.663E-05	2.47E-05
62	314	0.757	1.700E-05	2.52E-05
65	315.50	0.753	1.718E-05	2.55E-05
69	317.50	0.748	1.736E-05	2.57E-05
74	320	0.743	1.758E-05	2.61E-05
84	325	0.731	1.807E-05	2.68E-05
89	327.50	0.726	1.832E-05	2.72E-05
94	330	0.720	1.857E-05	2.75E-05
114	340	0.699	1.955E-05	2.90E-05

En tercer lugar, la variación de la densidad se explica mediante el Coeficiente de expansión volumétrica.

$$\beta = \frac{-1}{\rho} \cdot \left(\frac{d}{dT} \rho \right) \quad , \text{ a presión constante.}$$

Esta propiedad termodinámica indica una medida del cambio de densidad como efecto de un cambio de temperatura a presión constante. Luego, para un gas ideal se tiene:

$$\rho = \frac{p}{R \cdot T}$$

Por lo que, resolviendo la derivada y reemplazando en la ecuación anterior, se tiene:

$$\beta = \frac{1}{T}$$

En cuarto lugar, definimos la ecuación del número de Grashof. Dicho número indica la razón entre las fuerzas de empuje y las fuerzas viscosas que actúan en un fluido.

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{Sup} - T_{Amb}) \cdot L_C}{\nu^2}$$

Lc representa la longitud característica del cálculo, en este caso, el diámetro exterior de la cámara.

Tabla A4-2 Cálculo del número de Grashoff

Temp. Superficial (°C)	Coef. de exp. volumétrica (1/K)	Grashoff
34	3.33E-03	1.86E+10
44	3.28E-03	2.95E+10
54	3.23E-03	3.89E+10
62	3.19E-03	4.49E+10
65	3.17E-03	4.76E+10
69	3.15E-03	5.02E+10
74	3.13E-03	5.35E+10
84	3.08E-03	5.91E+10
89	3.05E-03	6.15E+10
94	3.03E-03	6.38E+10
114	2.94E-03	7.09E+10

Para el cálculo del número de Prandtl, se requiere conocer la viscosidad dinámica, el calor específico a presión constante y el coeficiente de conductividad térmica.

$$Pr = \frac{(\mu \cdot Cp)}{k}$$

El primer valor se hallará mediante la viscosidad cinemática mientras que los otros dos últimos se obtienen de las propiedades del aire seco a dichas temperaturas pues son valores independientes de la presión. Esto último se explica con más detalle en el Anexo 5.

Tabla A4-3 Cálculo del número de Prandtl

Temp. de película (K)	Viscosidad dinámica (kg/m ² s)	Cp (J/kg ² K)	k (W/m ² K)	Pr
300	1.842E-05	1006.30	0.02624	0.70635
305	1.866E-05	1006.55	0.02663	0.70547
310	1.890E-05	1006.80	0.02701	0.70432
314	1.908E-05	1006.93	0.02730	0.70387
315.5	1.917E-05	1006.99	0.02744	0.70359
317.5	1.926E-05	1007.05	0.02758	0.70327
320	1.935E-05	1007.30	0.02779	0.70134
325	1.958E-05	1007.48	0.02816	0.70064
327.5	1.970E-05	1007.69	0.02835	0.70029
330	1.981E-05	1007.90	0.02853	0.69989

Anexo 5: Parámetros para flujo interno de mezcla gaseosa a 800°C

En el presente anexo se hallarán 3 parámetros de la mezcla gaseosa que fluye a través del ducto de comunicación entre las dos cámaras. Estos son:

- Viscosidad dinámica
- Coeficiente de conductividad térmica
- Número de Prandtl

Para hallar la viscosidad de mezclas gaseosas se utilizará la ecuación de Wilke (ref A5-1). En dicha ecuación se requiere las viscosidades de los elementos involucrados en la mezcla, sus fracciones molares y sus masas molares

La mezcla está compuesta por gases de combustión y vapor de agua. Sin embargo, para el presente cálculo, se asumirá que los gases de combustión tienen propiedades equivalentes a las del aire seco. La temperatura de la mezcla se asumirá a 800°C y la presión se aproxima a 68kPa.

Cabe mencionar que habrá diferencia de presión en el interior del incinerador respecto al atmosférico (diferencia entre -12.45 Pa y -24.9 Pa, ver Ref 1.19); sin embargo no se le considera dado que eso está determinado por los equipos auxiliares que se instalarán posteriormente y que no son parte del presente diseño. Por otro lado, como se puede ver, la variación no es significativa.

Gas de combustión considerado como aire seco:

$$FlujoGasSeco := 0.05 \frac{kg}{s}$$

$$MasaGasSeco := FlujoGasSeco \cdot 6 \text{ hr} = (1.08 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$MasaMolarGasSeco := 0.02884 \frac{kg}{mol}$$

$$MolesGasSeco := \frac{MasaGasSeco}{MasaMolarGasSeco} = (3.745 \cdot 10^4) \text{ mol}$$

Vapor de Agua en estado sobrecalentado(68 kPa y 800°C):

$$FlujoAgua := 0.1 \frac{kg}{s}$$

$$MasaAgua := FlujoAgua \cdot 6 \text{ hr} = (2.16 \cdot 10^3) \text{ kg}$$

$$MasaMolarAgua := 0.018 \frac{kg}{mol}$$

$$MolesAgua := \frac{MasaAgua}{MasaMolarAgua} = (1.2 \cdot 10^5) \text{ mol}$$

$$MolesTot := MolesAgua + MolesGasSeco = (1.574 \cdot 10^5) \text{ mol}$$

$$x_{gas} := \frac{MolesGasSeco}{MolesTot} = 0.238$$

$$x_{agua} := \frac{MolesAgua}{MolesTot} = 0.762$$

Viscosidad dinámica

Para el gas, a 800°C, se aplica la siguiente ecuación para las viscosidades cinemáticas:

$$\frac{\nu}{\nu_0} = \frac{P_0}{P'}$$

$$P_0 := 1 \text{ atm}$$

$$P' := 68 \text{ kPa}$$

ν_0 representa la viscosidad cinemática a la presión atmosférica estandar mientras que ν es la viscosidad a la presión deseada.

$$\mu_{AireAmb} := 442.36 \cdot 10^{-7} \frac{N \cdot s}{m^2}$$

$$\rho_{amb} := 0.3251 \frac{kg}{m^3}$$

$$\nu_0 := \frac{\mu_{AireAmb}}{\rho_{amb}}$$

$$\nu := \frac{P_0}{P'} \cdot \nu_0 = (2.028 \cdot 10^{-4}) \frac{m^2}{s}$$

De la ecuación de estado para los gases ideales:

$$\rho_{gas} := 0.22 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu_{gas} := \rho_{gas} \cdot \nu = (4.461 \cdot 10^{-5}) \frac{N \cdot s}{m^2}$$

Por otro lado, para vapor de agua sobrecalentado a las condiciones mostradas:

$$\mu_{agua} := 4.0375 \cdot 10^{-5} \frac{N \cdot s}{m^2}$$

Luego, según la ecuación de Wilke,

$$\mu_{mezcla} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \mu_i}{\sum_{j=1}^n x_j \cdot \Phi_j}$$

$$\Phi_j = \frac{1}{\sqrt{8}} \cdot \left(1 + \frac{M_i}{M_j}\right)^{-1/2} \cdot \left[1 + \left(\frac{\mu_i}{\mu_j}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{M_i}{M_j}\right)^{1/4}\right]^2$$

Fig. A5-1. Ecuación de Wilke

Sea:

$$x_i := x_{gas} = 0.238$$

$$x_j := x_{agua} = 0.762$$

$$M_i := MasaMolarGasSeco$$

$$M_j := MasaMolarAgua$$

$$\mu_i := \mu_{gas}$$

$$\mu_j := \mu_{agua}$$

$$\frac{M_i}{M_j} = 1.602$$

$$\frac{M_j}{M_i} = 0.624$$

$$\frac{\mu_i}{\mu_j} = 1.105$$

$$\frac{\mu_j}{\mu_i} = 0.905$$

$$\Phi_{ij} := \frac{1}{\sqrt{8}} \left(1 + \frac{M_i}{M_j}\right)^{-0.5} \cdot \left(1 + \left(\frac{\mu_i}{\mu_j}\right)^{0.5} \cdot \left(\frac{M_j}{M_i}\right)^{0.25}\right)^2 = 0.82$$

$$\Phi_{ji} := \frac{1}{\sqrt{8}} \left(1 + \frac{M_j}{M_i}\right)^{-0.5} \cdot \left(1 + \left(\frac{\mu_j}{\mu_i}\right)^{0.5} \cdot \left(\frac{M_i}{M_j}\right)^{0.25}\right)^2 = 1.189$$

Tabla A5-1. Cuadro resumen de valores a intervenir en ec. de Wilke

i	j	Mi/Mj	ui/uj	Øij
1	1	1	1	1
	2	1.602	1.105	0.820
2	1	0.624	0.905	1.189
	2	1	1	1

$$\mu_{mezcla} := \frac{(x_{gas} \cdot \mu_{gas})}{0.8628} + \frac{(x_{agua} \cdot \mu_{agua})}{1.0449} = (4.175 \cdot 10^{-5}) \frac{N \cdot s}{m^2}$$

Coefficiente de conductividad térmica

Para el cálculo de la conductividad térmica utilizaremos el mismo método usado para la viscosidad. Es decir, tomaremos como referencia la ecuación de Wilke (ref. A5-2). Para este cálculo, necesitamos las conductividades térmicas de los elementos a intervenir en la mezcla. El valor del aire seco para las condiciones de operación se halla a partir de tablas; sin embargo, para hallar el valor correspondiente al agua en estado sobrecalentado se deben hacer las siguientes suposiciones:

- Según la teoría de la cinética de los gases, el coeficiente de conductividad térmica de los gases es independiente de la presión y depende únicamente de la temperatura por lo que, a pesar de que los valores de la fig A5-2 han sido calculados para 1atm, podemos considerarlos validos para 68kPa.

Luego, mediante aproximación lineal, se halle el valor del coeficiente deseado para el vapor de agua sobrecalentada.

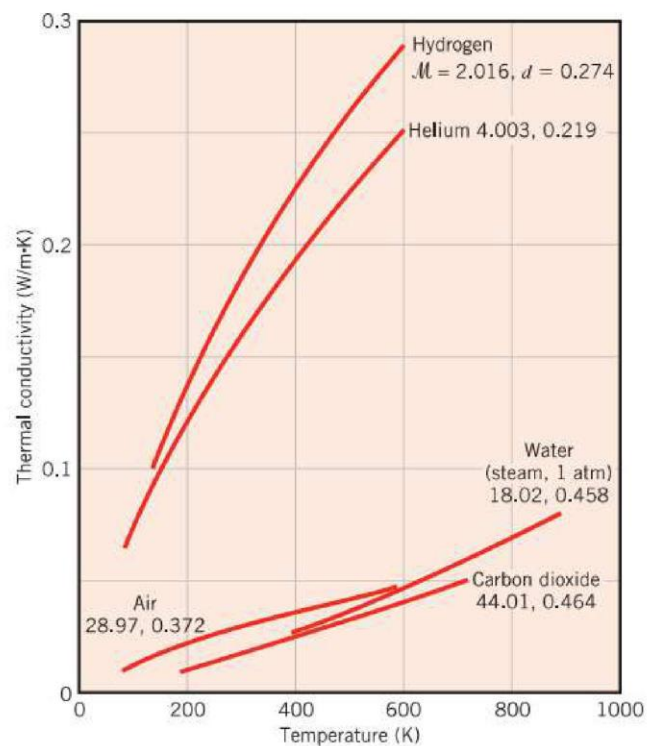


Fig. A5-2. Dependencia de la conductividad térmica sobre la temperatura (ref. A5-3)

Los valores para el gas y el agua son:

$$k_{gas} := 70.3 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{W}{m \cdot K} \quad k_{agua} := 8.23 \cdot 10^{-2} \frac{W}{m \cdot K}$$

$$k_i := k_{gas} \quad k_j := k_{agua}$$

$$\frac{k_i}{k_j} = 0.854 \quad \frac{k_j}{k_i} = 1.171$$

$$\Phi_{ij} := \frac{1}{\sqrt[2]{8}} \left(1 + \frac{M_i}{M_j} \right)^{-0.5} \cdot \left(1 + \left(\frac{k_i}{k_j} \right)^{0.5} \cdot \left(\frac{M_j}{M_i} \right)^{0.25} \right)^2 = 0.727$$

$$\Phi_{ji} := \frac{1}{\sqrt[2]{8}} \left(1 + \frac{M_j}{M_i} \right)^{-0.5} \cdot \left(1 + \left(\frac{k_j}{k_i} \right)^{0.5} \cdot \left(\frac{M_i}{M_j} \right)^{0.25} \right)^2 = 1.364$$

Tabla A5-2. Cuadro resumen de valores a intervenir en ec. para coeficiente térmico

i	j	Mi/Mj	ki/kj	Øij
1	1	1	1	1
	2	1.602	0.854	0.727
2	1	0.624	1.171	1.364
	2	1	1	1

$$k_{mezcla} := \frac{(x_{gas} \cdot k_i)}{0.7919} + \frac{(x_{agua} \cdot k_j)}{1.0866} = 0.079 \frac{W}{m \cdot K}$$

El coeficiente específico de la mezcla se calcula mediante las fracciones molares ya que es una propiedad lineal.

$$c_{p_{aire}} := 1153 \frac{J}{kg \cdot K} \quad c_{p_{agua}} := 2343 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$c_{p_{mezcla}} := x_i \cdot c_{p_{aire}} + x_j \cdot c_{p_{agua}} = (2.06 \cdot 10^3) \frac{J}{kg \cdot K}$$

Número de Prandtl

El número de Prandtl se calcula por definición:

$$Pr_{mezcla} := \frac{(\mu_{mezcla} \cdot c_{p_{mezcla}})}{k_{mezcla}} = 1.091$$

Referencias del anexo 5:

- A5-1 BIRD
2006 Fenómenos de transporte. Limusa Wiley. Segunda edición. Pág. 29.
- A5-2 MARTINEZ, JÍMENEZ Y FLORES
2002 Estudio numérico de la operación de un horno cilíndrico para la cocción de ladrillo rojo. Revista: Información tecnológica. Vol. 13. Número 1. 2002. Pág. 6.
- A5-3 INCROPERA
1999 Fundamentos de transferencia de calor. Prentice Hall. Cuarta edición. Pág 49, pág 843.

Anexo 6: Cotización de ladrillos aislante k-23 y k-26

LADRILLOS AISLANTES			
TIPOS K-23 Y K 26			
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO			
<p>Son productos sólidos, hechos principalmente a base de arcillas y caolines severamente seleccionados, tienen la propiedad de aislar el calor, no permitiendo que éste se expanda, reduciendo su pérdida al mínimo, ocasionando alto ahorro de energía. Su composición hace que sean muy estables y fuertes a temperaturas altas, con la resistencia excelente al ataque de álcali. La micro estructura única produce un ladrillo aislante con buena resistencia de choque térmico en relación con otro ladrillo refractario.</p> <p>Son ergonómicos, de peso ligero, con un alto porcentaje de burbujas de aire aislantes dispersas uniformemente por todo el ladrillo, como resultado, conducen menos calor dentro de un horno, que los otros aislantes más pesados.</p> <p>Los tipos de ladrillos Aislantes disponibles son K-23 y K-26, y sus medidas son estándar.</p>			
USOS Y APLICACIONES :			
<p>Se emplean como aislante térmico para el forro o revestimiento de hornos de uso cerámico eléctricos o a gas, brindando soporte del fuego, además se utiliza como aislamiento de respaldo para el alto horno, Forro de hornos de forja, de carburizado, así como para el revestimiento externo (pared secundaria) de cualquier horno con el fin de evitar pérdida de calor.</p>			
PROPIEDADES			
QUIMICAS			
Tipos	:	K-23	K-26
Temperatura	:	1,260°C	1,425°C
Conductividad Térmica	°C/m	0.35	0.49
Composición	Al ₂ O ₃	34.0%	38.0%
	SiO ₂	61.0%	57.0%
	ZrO ₂	1.0%	0.9%
	TiO ₂	1.8%	2.0%
FISICAS			
		K-23	K-26
Densidad Kg./m ³	:	750	900
Largo	:	9"	9"
Ancho	:	4½"	4½"
Espesor	:	2½"	2½"



ventas@nitronsac.com

Anexo 7: Cotización de acero ASTM A285 Gr. C

Señores
CALDEROS PIEDRA
Presente.-

Atención : Ing. Juan Piedra / Rosemary Palomino
Ref. : Plancha de caldero A285 Gr. C

Estimados señores:

Me es grato dirigirle la presente a fin de saludarlos y a la vez hacerle llegar nuestra mejor oferta por las planchas para caldero A285 Gr. C a los siguientes precios:

Item	Cant	Und.	Descripción	P. Unit	Total
1	1	Pl.	Plancha A285 Gr. C de 3/8" x 6' x 24'	\$1,800.00	\$1,800.00
2	1	Pl.	Plancha A285 Gr. C de 1/2" x 6' x 24'	\$2,336.00	\$2,336.00
3	1	Pl.	Plancha A285 Gr. C de 5/8" x 8' x 24'	\$4,090.15	\$4,090.15
					+ IGV 18%

Condiciones de Venta

Moneda : Dólares Americanos
Forma de Pago : Por Convenir
Validez de Oferta : 7 días
Tiempo de Entrega : Inmediato de stock (Salvo previa venta)

Atentamente,

Julissa Herrera Paredes
Tefl. Nextel (99) 409*7295 - Cel. 993718653
Direc. : Jr. Sicuani 1638 – Chacarillos Norte Cercado de Lima
Email : Jherrer@icesac.com.pe icesac@speedy.com.pe
Pag. Web : www.icesac.com.pe

Anexo 8: Cotización de quemadores
 Empresa: ALANPER

Detalle	Precio unitario (USD)
01- Quemador "EQA" mod. 76 de 1", capac. máx. 30,000kcal/hr, con cabeza inox. 34 kw	556.00
01-Ventilador soplador de 3/4 HP	795.00
S-722 marca "EQA" 01-Reguladora conex. 3/4" t/amarilla	128.00
<u>Automatización incluye:</u>	
01- Válvula a solenoide mod. 1330LA04T, 220v/60hz	
01- Válvula a solenoide mod. 1327BA302, 220v/60hz	
01- Piloto 80C con bujía de encendido y detección	
01- Programador Satronic mod. DKG-972, c/zócalo.	
01- Transformador de encendido E820P	
01- Presostato p/gas "Helmont" 10-50mbar	
01- Presostato p/aire "Helmont" 10-50mbar	2,390.00
01-Filtro para gas de 1/2" "Helmont"	
01- Manómetro de baja de 0-60mbar	
01- Válvula esférica de 1/4" para gas	
10- mts de cable amarillo siliconado	
Accesorios para armado	
01- Tablero eléctrico para quemador	
01- Servicio de instalación y puesta en marcha a 1mt. de acometida	690.00

Detalle	P. Unit. (USD)
01- Quemador "EQA" mod. 76 de 2½", capac. máx. 450,000kcal/hr, 523 Kw, con cabeza inox.	1,429.00
01-Placa frontal con registro de aire 2½"	350.00
01-Ventilador soplador de 3 HP trifásico	1,290.00
S-722 marca "EQA" 01-Reguladora conex. 3/4" t/amarilla	128.00
<u>Automatización incluye:</u>	
01- Válvula a solenoide mod. 1330LA04T, 220v/60hz	4,369.00
01- Válvula a solenoide mod. 1330LA08T, 220v/60hz	
01- Válvula a solenoide mod. 1330LA08LT, 220v/60hz	
01- Piloto inext. con VAP de encendido y detección (1700100)	
01-Piloto mezclador aire y gas (1700216)	
01- Programador Satronic mod. DKG-972, c/zócalo.	
01- Presostato p/gas "Helmont" 10-50mbar	
01- Presostato p/aire "Helmont" 10-50mbar	
01-Filtro para gas de 1" "Helmont"	
01- Manómetro de baja de 0-100mbar con mini válvula de 1/4"	
01- Transformador de encendido E820P	
10- mts de cable amarillo siliconado	
02- Capuchones siliconado	
Accesorios para armado	
01- Tablero eléctrico para quemador	
1.5mt. de manguera flexible p/gas de 1"	
2mts. de manguera flexible p/aire de 3"	
01- Servicio de instalación y puesta en marcha a 1mt. de acometida	1,290.00



AAISLACORP 2000 S.A.C.

AISLAMIENTOS TÉRMICOS INDUSTRIALES CALOR - FRÍO

SOMOS FABRICANTES E IMPORTADORES

AISLAMIENTOS TÉRMICOS LINEA CALOR - FRÍO

- LANAROKA EN MANTAS, CAÑOS Y PANELES.
- LANA DE VIDRIO IMPORTADO EN MANTAS Y PANELES.
- FIBRA CERÁMICA EN MANTAS, PLACAS Y TELA.
- POLIURETANO EN PLANCHAS, CAÑOS Y LÍQUIDO.
- FOIL Y CINTA DE ALUMINIO REFORZADO.
- CHAQUETAS METÁLICAS EN ALUMINIO, GALVANIZADO, ACERO INOXIDABLE Y OTROS.

Montajes a Nivel Nacional

PROFORMA N° 06-247/14

Lima, 17 de Setiembre de 2014

Señores.

CALDEROS PIEDRA SRL

Jr. Ramiro Prialé N° 364 – Ate

Teléfono : (01) 349-2723 / RPM: #976627666

Atención : Sra. Rosmery

Correo : calderos@calderospiedra.com

Ref. : SUMINISTRO DE LANAROKA EN CAÑOS.

Nos es grato hacerle llegar nuestra cotización N° 06-247/14, por el suministro del material indicado en la referencia, solicitado e indicado por ustedes, respectivamente.

DESCRIPCION DEL MATERIAL AISLANTE

1. **LANAROKA en caños**, son aislantes térmicos normalizados para tuberías de línea de calor y vapor, en diversos diámetros, se ajustan perfectamente a lo largo de las tuberías.

Presentación: Longitud: 1.00 mt. **Densidad:** 100 Kg/m³.

2. **LANAROKA en mantas**, material aislante **con malla hexagonal en cocada en ambas caras**, que sirve como medio de retención.

Presentación:

Medidas : 2.50 mt. de largo x 1.00 mt. de ancho

Espesor : 2" y 3"

Densidad : 100Kg/m³

Área : 2.50 m² por manta.

PRECIO POR SUMINISTRO DE MATERIAL:

CANT.	UNID.	DESCRIPCION	P.U	SUB T.(US\$)
10	mt.	LANAROKA en Caños Para Tub. De 1 1/4" Ø x 1 1/2" esp	6,50	65,00
10	mt.	LANAROKA en Caños Para Tub. De 3/4" Ø x 1" esp	3,70	37,00
10	unid.	LANAROKA en Codo 90° P/Tub. De 1 1/4" Ø x 1 1/2" esp	5,90	59,00
10	unid.	LANAROKA en Codo 90° P/Tub. De 3/4" Ø x 1" esp	3,00	30,00
5	rollos	LANAROKA en Manta de 2" esp	32,50	162,50
5	rollos	LANAROKA en Manta de 3" esp	49,00	245,00
Sub. Total			US\$	598,50
IGV (18%)			US\$	107,73
Total a Pagar			US\$	706,23

"LÍDERES SUMINISTRANDO UN BUEN PRODUCTO Y SERVICIO"

AAISLACORP 2000 S.A.C. - R.U.C.: 20502371097

Sede Principal: Av. República de Portugal 274 - Breña, Lima - Perú

Central: (511) 424-0739

Telf/Fax.: (511) 332-1907

www.aaislacorp.com

ventas@aaislacorp.com

proyectos@aaislacorp.com